

The background of the entire page is a photograph of several small, green seedlings with two-lobed leaves growing out of dark, moist soil. The seedlings are at various stages of growth, with some showing more developed leaves than others. The soil is dark brown and appears to be rich in organic matter.

Evaluering af overvintrende grøntsager i økologisk jordbrug

Undersøgelse af vinteroverlevelse, udbytte og effekt på fordelingen af kvælstof i jordprofilen

Mariane Lynge

Kandidat i agrobiologi, økologisk jordbrug, planteernæring og -sundhed



AARHUS
UNIVERSITET

1. juni 2019

Evaluering af overvintrende grøntsager i økologisk jordbrug

Undersøgelse af vinteroverlevelse, udbytte og effekt på fordelingen af kvælstof i jordprofilen

English title: Evaluation of overwintering vegetables in organic farming. Investigation of winter survival, yield and the effect on nitrogen distribution in the soil profile.

Mariane Lyng

marianelyng@gmail.com

Studienr. 201511010

Kandidat i agrobiologi, økologisk jordbrug, planteernæring og -sundhed

Specialets ECTS: 45

Vejleder: Hanne Lakkenborg Kristensen, Lektor ved Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet

Censor: Dorte Bodin Dresbøll, Lektor ved Institut for Plante- og Miljøvidenskab,
Københavns Universitet

Afleveringsdato: 01.06.2019

Forsidefotoet er majroespirer af sorten 'Namenia' (Foto: Lyng, M. 12.01.2018)



AARHUS UNIVERSITET

Forord

Jeg vil gerne rette en tak til min vejleder Hanne Lakkenborg Kristensen for et godt samarbejde, hjælp med udførelsen af forsøget og diskussion af resultaterne. Derudover har Astrid Bergmann og Lasse Vesterholt været behjælpelige med datasæt og praktisk hjælp i marken. I laboratoriet har Annette Steen Brandsholm og Karin Henriksen været til stor hjælp med klorofyllanalyser.

Indhold

Abstract.....	1
Resume	2
1 Introduktion	3
2 Baggrund.....	6
2.1 Overvintring af grøntsager	6
2.1.1 Frosttolerance	6
2.1.2 Ophævelse og genetablering af frosttolerance	8
2.1.3 Klorofyl som indikator for frosttolerance	9
2.2 Kvælstofudnyttelse.....	10
2.2.1 Kvælstofkredsløb	10
2.2.2 Kvælstofudnyttelse og efterafgrøder	11
2.2.3 Roddybde og rodvækstrate af efterafgrøder	12
3 Materialer og metoder.....	14
3.1 Forsøgsdesign.....	15
3.2 Protokol for dataindsamling	17
3.2.1 Målinger for klorofyl indhold og kalibrering	18
3.3 Jordtemperatur	19
3.4 Kvælstofanalyse	19
3.5 Dataanalyse	19
4 Resultater	20
4.1 Spidskål.....	20
4.1.1 Klorofyl.....	22
4.2 Spinat	23
4.2.1 Fremspiring, plantedække og højde	23
4.2.2 Udbytte og kvælstofindhold	26
4.3 Hvidløg og kepaløg	26
4.3.1 Udbytte og kvælstofindhold	27
4.4 Gulerod	28
4.5 Majroe.....	29
4.6 Vinterrug	30
4.7 Kvælstofindhold.....	31
4.8 Jordtemperatur	33
5 Diskussion.....	34
5.1 Statistiske begrænsninger i nærværende forsøg	34
5.1.1 Eksempel på forsøgsdesign der tillader statistisk analyse	35
5.2 Overvintring	36
5.2.1 Spidskål.....	38
5.2.2 Spinat	40
5.2.3 Hvidløg og kepaløg	42
5.2.4 Gulerod.....	43
5.2.5 Majroe	43
5.3 Kvælstof.....	43
5.3.1 Kvælstofindhold i jorden.....	43
5.3.2 Kvælstofindhold i overjordisk plantemasse ved høst	47
6 Konklusion.....	48
7 Perspektiver	49
7.1 Videre arbejde.....	49
7.2 Anvendelse i praksis	50
8 Referencer.....	51

Abstract

A rising demand for organic and local commodities is occurring. Meanwhile the production of vegetables is attached with great risk of nitrate leaching, since the nitrogen use efficiency is low. A field experiment in 2017-2018 was conducted to clarify whether overwintering vegetables 1) can be implemented in organic vegetable cropping systems and 2) are able to reduce nitrogen levels in the soil equally with winter rye (*Secale cereale*). The project is a screening experiment without repetitions and the results must be interpreted as tendencies rather than significant differences. Five different vegetables are analyzed, with one to three different cultivars, one to two sowing or planting dates and one to two sowing densities. It was found that spinach (*Spinacia oleracea*), garlic (*Allium sativum*) and onion (*Allium cepa*) survived winter only depending on species. Pointed cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), carrot (*Daucus carota* var. *sativus*) and turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) did not survive. Despite indications of high frost tolerance from a rising chlorophyll content of the pointed cabbage winterkill occurred. Furthermore, it was found that sowing spinach and winter rye October 18 and 1 respectively, increased yields and decreased nitrogen levels in the soil in April when comparing to sowing November 7 and 1. The overwintering vegetables resulted in higher levels of nitrogen in the soil in April than the winter rye. It is estimated that the overwintering vegetables did not lower nitrate leaching due to high levels of nitrogen in deep soil layers at establishment, shallow roots and late establishment.

Resume

Efterspørgslen på økologiske og lokale råvarer stiger, men samtidig er der i produktionen af grøntsager ofte en lav kvælstofudnyttelse, som medfører en forhøjet risiko for nitratudvaskning. Et markforsøg i 2017-2018 blev opstillet for at afdække 1) om overvintrende grøntsager kan implementeres i et økologisk grøntsagsdyrkningssystem og 2) hvorvidt overvintrende grøntsager kan reducere jordens kvælstofindhold på lige fod med vinterrug (*Secale cereale*). Projektet er et screeningsforsøg uden gentagelser. Derfor skal resultaterne ses som tendenser frem for signifikante forskelle. Analyser af fem forskellige grøntsager blev foretaget med en til tre forskellige sorter, en til to forskellige så- eller plantetider i efteråret og en til to såtætheder. Det blev fundet at spinat (*Spinacia oleracea*), hvidløg (*Allium sativum*) og kepaløg (*Allium cepa*) overvintrede. Mens spidskål (*Brassica oleracea* var. *capitata* subv. *conica*), gulerod (*Daucus carota* var. *sativus*) og majroe (*Brassica rapa* var. *rapa*) udvintrede. Spidskålen udvintrede, på trods af klorofylmålinger der indikerede, at denne var frosthårdfør. Endvidere blev det fundet at såning af spinat og vinterrug henholdsvis den 18. og 1. oktober medførte højere udbytter og mindre kvælstof i jorden i april i forhold til såning henholdsvis 7. og 1. november. De overvintrende grøntsager medførte et højere indhold af kvælstof i jorden i april end vinterrug. Det vurderes at de overvintrende grøntsager ikke har mindsket udvaskning; pga. højt indhold af nitrat i dybe jordlag ved etablering i oktober, kort roddybde og sen etablering. For at efterkomme både efterspørgsel og mindskelse af nitratudvaskning, bør grøntsager med stor roddybde og tidligere etablering undersøges yderligere.

1 Introduktion

Landbruget står overfor den udfordring, at producere fødevarer til verdens befolkning, som vokser og i 2050 vil nå op på 9,4 mia. (United Nations 2017). Samtidig skal miljøbelastningerne fra landbruget nedbringes (Lal et al. 2011, Hansen et al. 2012). Nødvendigheden af et landbrug, der er mere bæredygtig, ikke bare økonomisk, men også miljømæssigt understreges af FN's verdensmål for bæredygtig udvikling. Heri forpligter de 193 medlemslande sig til at fremme fødevarer sikkerhed, imens miljøforurening reduceres (United Nations 2015). Miljøproblemer forårsaget af det intensiverede landbrug er omfattende. Det bidrager til forringelse af biodiversiteten, økosystemers funktioner og services (Benton et al. 2003), udledning af drivhusgasser (Cole et al. 1997), eutrofiering af økosystemer og overfladevand (Withers et al. 2014), samt forurening af grundvand med pesticider og nitrat (Leistra og Boesten 1989, Erisman et al. 2011).

Produktionen af grøntsager er forbundet med en høj risiko for kvælstofforurening af det omkringliggende miljø. Gødningsniveauerne for optimal vækst af grøntsager er høje og da generhvervelsen af kvælstof samtidig falder, når gødskningen stiger, fører det til en ringe kvælstofbalance for dyrkningssystemet (Greenwood et al. 1989). Udnyttelsen af kvælstof ved produktion af grøntsager og frugt er på globalt plan 14 %, mens der for hvede er en udnyttelse på 42 % (Zhang et al. 2015). Den lave kvælstofudnyttelseseffektivitet skyldes at nogle grøntsager har et overfladisk rodnet, hvorved kvælstof nemt siver ned under rodzonen (Thorup-Kristensen 1999, Agostini et al. 2010). Desuden høstes mange grøntsager før den fulde fysiologiske modenhed er opnået, hvilket medfører et højt kvælstofbehov op til høst og store mængder uudnyttet kvælstof i jorden (Whitmore 1996). Dertil kommer at der ved høst af grøntsager kan efterlades store mængder planterester med et højt kvælstof indhold (Goulding 2000, Agneessens et al. 2014). Hos nogle korsblomstrede der med planteresterne efterlades op til 300 kg N ha⁻¹ (Rahn et al. 1992). Når planteresterne nedbrydes, vil det organisk bundne kvælstof mineraliseres og nitrat kan perkolere med jordvæsken ned under rodzonen. Herved tabes det ud af dyrkningssystemet og udgør i stedet for en miljø- og sundhedsrisiko. I tillæg er der ved høst af sene grøntsager begrænset mulighed for etablering af effektive efterafgrøder, der ellers kunne afbøde nitrat udvaskning (Thorup-Kristensen 1999).

Behovet for at optimere kvælstofudnyttelsen skyldes ikke kun forureningsaspektet, men også det faktum, at i en økologisk grøntsagsproduktion uden dyrehold

er kvælstof en af de væsentligste faktorer der begrænser produktionen. Anvendelsen af konventionel dyregødning i økologisk produktion er ikke tilladt fra 2021 og den økologiske variant er en begrænset ressource, der kun kan opfylde en lille del af gødningsbehovet (Thorup-Kristensen 1999).

Økologisk landbrug ses på mange måder som en produktionsform, der sikrer hensyntagen til natur, biodiversitet, miljø og menneskers sundhed (Miljø- og Fødevareministeriet 2017) og kunne være et skridt i retningen af at opnå FN's verdensmål for bæredygtigt landbrug. Interessen for økologiske fødevarer vokser og hovedmotivationen for forbrugeren er miljøhensyn og egen sundhed (Christensen og Sandøe 2018). Danmark ligger på en global førsteplads med omsætningen af økologiske varer, der er opgjort til 12,9 % af det samlede detailsalg i 2018. Grøntsager udgør den største økologiske varegruppe og salget var i 2018 på 2,8 mia. kr. og steg med 18 % fra 2017. Den høje efterspørgsel har medført øget produktion og det økologiske landbrugsareal udvides hvert år. Økologiske gartneriafgrøder (primært grøntsager og frugt) steg fra 2.500 ha til 4.600 ha fra 2012-2018 og udgør 22,5 pct. af det samlede areal af gartneriafgrøder. Udbuddet kan dog ikke følge med efterspørgslen og der ses et stigende underskud i udenrigshandelen med økologiske varer. Her udgør frugt og grønt den største varegruppe og import af økologisk grønt steg fra 0,5 mia. kr. i 2012 til 1.5 mia. kr. i 2018 (Danmarks Statistik 2019).

For at imødegå den øgede efterspørgsel på økologiske grøntsager og behovet for bedre varetagelse af kvælstofressourcerne, blev projektet DoubleCrop igangsat. Formålet er at udvikle intensive økologiske dyrkningsmetoder, der kan højne produktiviteten, samtidig med at den negative påvirkning af miljøet gennem tab af næringsstoffer mindskes. Nærværende studie er et delprojekt under DoubleCrop og undersøger, hvorvidt overvintrende grøntsager kan indføres i et økologisk sædskifte og bidrage til forøgelse af den årlige produktion og udvide høstsæsonen. Samtidig undersøges hvorvidt de overvintrende grøntsager kan bidrage til en bedre kvælstofudnyttelse. Studiets resultater vil være et bidrag til udviklingen af intensive økologiske dyrkningssystemer med forbedret kvælstofbalance i grøntsagsproduktionen og være en brik i at efterkomme efterspørgslen på sunde og miljøvenlige økologiske grøntsager.

Dette projekt analyserer fem forskellige grøntsager med en til tre forskellige sorter, en til to forskellige så- eller plantetider i efteråret og en til to såtætheder. Grøntsagerne i forsøget er spidskål (*Brassica oleracea* var. *capitata* subv. *conica*), spinat (*Spinacia oleracea*), hvidløg (*Allium sativum*), kepaløg (*Allium cepa*), gulerod (*Daucus carota* subv. *sativus*), majroe (*Brassica rapa* var. *rapa*) og som reference til kvælstofoptag vinterrug (*Secale cereale*).

Hypoteserne for projektet var:

- Vinteroverlevelse er påvirket af art, sort, samt så- og plantetid
- Vinteroverlevelse vil for spidskål være størst i sorter med det højeste klorofylindhold
- Tidligere såtid vil medføre højere udbytte og kvælstofindhold i afgrøderne
- Tidligere såtid vil medføre mindre kvælstof i jorden i april
- Fordelingen af kvælstof i jorden i april vil være påvirket af art, sort, så- og plantetid, samt såtæthed

Dette undersøges ved udførelse af et markforsøg med måling af:

- Fremspiring, plantedække, højde og antal blade målt fra november til januar
- Vinteroverlevelse
- Klorofylindhold i spidskål
- Fordelingen af kvælstof i jordprofilen i sammenligning med vinterrug målt i oktober og april
- Udbytte og kvælstofindhold i det overjordiske plantemateriale ved høst

2 Baggrund

2.1 Overvintring af grøntsager

For at optimere den årlige produktion med grøntsager til overvintring, må afgrøderne første og fremmest have en vellykket overvintring. Afgrøderne bør have en høj grad af vinterhårdførhed, der kan beskrives som kapaciteten til at modstå forskellige miljøpåvirkninger, såsom fysiologisk tørke, is indkapsling, vandmættet og iltfattig jord, samt kulde og frost (Badeck og Rizza 2015). Forsøg med 54 byggenotyper dyrket i Europa viste, at 50 % af vinterhårdførheden er associeret med graden af frosthårdførhed (Rizza et al. 2011). Dog vil der på danske breddegrader være en stærkere sammenhæng mellem de to begreber, da en dansk vinter uden undtagelser vil byde på frost, og denne stressfaktor vil overskygge andre påvirkninger (Levitt 1980).

Frosthårdførhed indbefatter to typer resistens. Dels undvigelse, som indbefatter at frysning af væv forhindres enten delvist eller helt. Dette kan ske via fysiske- eller kemiske barrierer, som isolerer de levende celler fra frysning. Og dels tolerance, som betyder at planten lider irreversible skader. Planten er i stand til at overleve frysning uden varige mén, ved at forebygge, nedbringe eller reparere skaden. Under danske vinterforhold vil der oftest være tale om en tolerance, når det gælder frosthårdførhed, da undvigelse af frostskafer kun forekommer ved få minusgrader (Levitt 1980).

2.1.1 *Frosttolerance*

Når planter udsættes for negative temperaturer, vil der dannes iskrystaller i plantevævet. Vævet vil være i stand til at overleve, så længe isdannelsen sker i extracellulært væv og når ikke der sker betydelig skade på cellemembranen. Selvom væv går til under frost, kan planten overleve, fx ved at skyde igen fra rødderne, når frosten er ovre. Tolerancen overfor frost har stor variation og genotypen er afgørende for hvilket potentiale en plante har for at tolerere frost (Xin og Browse 2000, Lecomte et al. 2003). Gennem hærkning, som er en adaptationsproces, kan en genotypes fulde frosthårdførhed opnås (Thomashow 1999). Spændet over hvor mange frostgrader en plante før og efter hærkning kan tolerere, er stort. Ikke-hærdet rug dør ved omkring -5 °C, mens samme plante efter hærkning kan overleve ned til -30 °C (Thomashow 1999). Hærkningen sker ved at afgrøderne eksponeres for lave temperaturer over frysepunktet gennem længere tid. Temperaturer, der inducerer hærkningen, varierer fra art til art, men

generelt ligger det på 5 til 10 °C. Hærdningen kan tage dage til uger før en fuldstændig frosthårdførhed er opnået og generelt er raten af hærdning højeste inden for de første få dage under hærdningstemperaturer (Levitt 1980).

En tidlig og mere præcis sansning af lave temperaturer er afgørende for den potentielt opnåelige frosthårdførhed, da det medfører en længere periode, hvor planten kan hærde og forøge tolerancen. Forsøg af Fowler (2008) har vist at des højere induktionstemperaturen er, des større er den opnåelige tolerance over for frost. I forsøget blev det fundet, at vinterhvede havde 5,7 °C højere induktionstemperatur end tæt-isogene linjer, hvor vernaliseringsgenet er fjernet. LT₅₀ (median af letal temperatur) lå på -19,2 °C for vinterhvede mod en LT₅₀ værdi på -11,8 °C for den tæt-isogene linje. Temperaturen, som hærdningen foregår under, har stor betydning for graden af frosthårdførhed. For en given plante findes en optimal temperatur for tilegnelse af størst frosttolerance (Chen og Li 1980) og desuden vil et løbende temperaturfald frem for en konstant temperatur føre til en større frosttolerance (Levitt 1980). I tillæg til temperatur, har mange andre faktorer indflydelse på hærdningsprocessen og den opnåelige frosthårdførhed.

Tørke-stress vist sig at have en positiv indvirken indenfor flere arter, da det bevirker at sukkerstoffer akkumuleres og frysepunktet derved nedsættes i vævet (Stout 1980, Sasaki et al. 1998, Rajashekar og Panda 2014). Modsigende viste et forsøg af Jacobsen et al. (2005), at dødsraten steg fra 25 % til 56 %, når den relative luftfugtighed faldt fra 90 % til 60 % hos quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) på to-blads stadie ved -4 °C.

Derudover spiller plantens vækststadie ind. Et forsøg med græsser og bælgrugter viste at forskellige vækststadier havde forskellig tolerance over for frost. De fleste græsser i forsøget var mest sårbare over for frost (-10 °C i 8 timer), når frøet var spiret, men ikke synligt i jordoverfladen. Bælgplanterne derimod havde en relativ bedre overlevelse end græsserne på dette stadie (Arakeri og Schmid 1949). Et andet forsøg undersøgte bælgrugters frosttolerance. Forsøget inkluderede fire temperaturer: -2, -4, -6, og -8 °C, fire aldre: 1 uge (kimstængel bue), 2 uger (kimblade er helt udfoldet), 3 uger (første blad til syne) og 4 uger (anden blad til syne) og 10 bælgrugtsarter, blandt andet rødkløver (*Trifolium pratense*), hvidkløver (*T. repens*), sojabønne (*Glycine max*) og almindelig ært (*Pisum sativum*). Forsøget viste, at de en uge gamle planter havde størst frosttolerance fremfor de ældre planter. Almindelig ært havde fuld resistens overfor -2 °C for en til tre uger gamle planter, mens de fire uger gamle planter havde en overlevelse på 94 %. Sojabønne havde fuld resistens ved -2 °C for de en uge gamle

planter. De to og tre uger gamle planter havde en overlevelse på 94 % og de 4 uger gamle planter en overlevelse på 87 %. Rød- og hvidkløver viste lignende tendenser med bedste overlevelse af en uge gamle planter ved -4 og -6 °C, men ved -8 °C (under LT₅₀) klarede de 4 uger gamle planter sig bedst. For rødkløver var overlevelsen ved -8 °C på 25 % for fire uger gamle planter, mens den for en og tre uger gamle var 14 % og lavest var den ved to uger gamle på 8 % (Meyer og Badaruddin 2001). Forsøg med quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) viste at planter på 12-blads stadiet og ved antesis var signifikant mere negativt påvirket overfor frost end planter på to-blads stadiet (Jacobsen et al. 2005). Disse forsøg viser, at udviklingsstadiet for højeste frosttolerance varierer på artsniveau.

2.1.2 Ophævelse og genetablering af frosttolerance

Den hærdede frosttolerance ophæves, når væksten i foråret aktiveres. Ophævelse af frosthårdføreheden sker hurtigere end selve hærdeningen og kan vare fra få dage til uger, hvor hærdeningen kan tage uger til måneder før fulde potentiale er opnået. Selvom et ophør af frosthårdføreheden er nødvendig for vækst, er det en fordel, at den ikke afvikles for hurtigt. I den sene vinter og det tidlige forår, hvor der kan komme høje temperaturer afløst af frost, kan det være fatalt, hvis afgrøderne har afviklet hårdføreheden. Derfor er en træg ophævelse af hårdføreheden, samt evnen til at genetablere hårdføreheden ønskværdig og man taler derfor om resistens overfor ophævelse af hårdførehed (Kalberer et al. 2006).

Ophævelse af hærdet frosthårdførehed varierer ligesom med selve hærdeningen ikke kun mellem arter, men også på sortsniveau. Desuden har temperaturhistorikken (graden og varigheden) stor indflydelse på, hvilken temperatur frosthårdføreheden ophæves ved og i hvilken grad. Niveauet af afhærdning stiger med varigheden af eksponering af inducerende temperaturer og raten af afhærdning falder efterhånden som afhærtningsprocessen skrider frem (Kalberer et al. 2006).

I et forsøg med vild kartoffel (*Solanum commersonii*) blev den maksimale frosthårdførehed på -12 °C opnået efter 15 dage ved 2 °C. 12 °C var grænseværdien for initiering af hærtningsprocessen og 2 °C var den mest optimale temperatur for hurtig og fuld hærtning. Den opnåede hærtning kunne ophæves efter 1 dag ved 20 °C og ophævelsen blev initieret efter kun 2-3 timer. Ved udsættelse for 10 °C blev frosttolerancen reduceret i mindre grad og faldt til -9 °C på 1 dag og ændrede sig ikke yderligere (Chen og Li 1980). Dette forsøg understreger,

at ophævelse af hærkning kan ske væsentlig hurtigere end selve hærningen, og at temperaturen der igangsætter ophævelsen, har stor betydning for i hvilken grad hærningen ophæves.

Det kan virke indlysende at afgrøder, der kan opnå en høj grad af frosthårdførhed, også besidder en veludviklet resistens over for ophævelse af den. Dog hænger det ikke nødvendigvis sådan sammen og ligeledes er et højt frosthårdførhedspotentiale ikke ensbetydende med en hurtig hærkningsproces (Hummer et al. 1986, Lindstrom og Dirr 1991, Vega et al. 2000).

Genhærkning kan ske efter ophævelse af frosthårdføreheden, men ikke altid til fuld frosthårdførhed. Kapaciteten til at genhærde er negativt påvirket af varigheden for eksponeringen af høje temperaturer og graden af hårdførehedens ophævelse. Desuden falder kapaciteten til at genhærde ved gentagende cirkler af hærkning og afhærkning, hvilket også er gældende ved alternerende dag/nat temperaturer. Om den faldende kapacitet skyldes mangel på energi eller irreversible forandringer er uvist (Kalberer et al. 2006). En lav resistens over for afhærkning er ikke nødvendigvis fatal i forhold til god overvintring, hvis bare genhærningen er stærk. Genhærkning etableres ofte over længere tid end ophævelse af hærkning, men er hurtigere end den oprindelige hærkningsproces. Baggrunden for dette menes at være at ophævelse af hærningen er mindre energikrævende og i højere grad fordrer nedregulering af genekspression og biosyntese frem for opregulering (Kalberer et al. 2006)

Overvintrende afgrøder er særligt udsatte for frostskafer i foråret, hvor der kan komme høje temperaturer efterfulgt af perioder med frost. Hvis der hos afgrøderne er sket en ophævelse af den hærkede frosthårdførhed kan få minusgrader være letale. Derfor er en træg ophævelse af frosthårdføreheden ønskværdig og mindst lige så vigtig som den opnåelige frosthårdførhed (Gu et al. 2008, Rigby og Porporato 2008).

2.1.3 Klorofyl som indikator for frosttolerance

For at kvantificere en plantes frosttolerance, kan plantens klorofylindhold benyttes som indikator. Årsagen til sammenhængen mellem frosttolerance og klorofyl er, at forskellige stresspåvirkninger, som fx kulde, medfører nedregulering af fotosystem II, der indeholder store mængder klorofyl (Clement og Van Hasselt 1996). Forsøg med sojabønne (*Glycine max*) og almindelig ært (*Pisum sativum*) har vist, at lave temperaturer (4-7 °C) inducerer en mindselse af klorofylsyntesen (Yadegari et al. 2007, Dutta et al. 2009). Endvidere har forsøg med kartoffel

(*Solanum tuberosum*) vist, at i en frostsensitiv kartoffelsort faldt klorofylindholdet, mens det forblev det samme eller steg i en hårdfør sort henover vinteren (Levitt 1980).

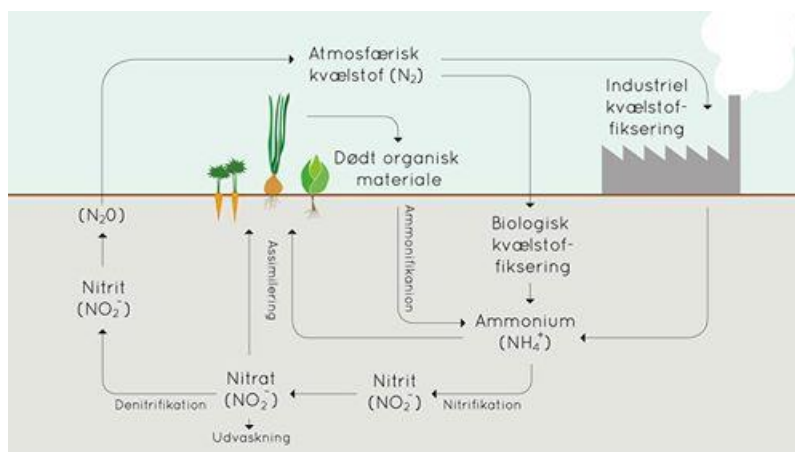
Bestemmelse af planters klorofylindhold udføres ofte på blad-niveau. Metoden kan sidestilles med andre veletablerede metoder, som fx elektrolytlækage og visuel bedømmelse af frostskeer og beskrives som sensitiv, pålidelig og hurtig (Clement og Van Hasselt 1996). Frosttolerance afdækket på blad-niveau via klorofylmålinger er ikke identisk med frosttolerance for hele planten, herunder kapaciteten til at overleve og genspire. Dog har studier vist, at der er en korrelation (Rizza et al. 2011). Metoden kan derfor ikke bruges til bestemmelse af en plantes absolutte frosttolerance, men er behændig til relativ rangordning af genotyper (Badeck og Rizza 2015), samt til at afdække udviklingen af en plantes vitalitet. Netop dette er et vigtigt redskab i evalueringen af overvintrende afgrøder, hvor man ønsker at kvantificere forskellige sorter og såtidens indflydelse på vinteroverlevelsen af en given afgrøde.

2.2 Kvælstofudnyttelse

Når grøntsager etableres til overvintring, vil de optage kvælstof fra jorden. Derved kan de potentielt set mindske risikoen for nitratudvaskning. I det følgende ses nærmere på kvælstofkredsløbet og hvordan nitratudvaskning kan nedbringes.

2.2.1 Kvælstofkredsløb

I tillæg til oxygen, kulstof og hydrogen er kvælstof det mest hyppige stof i planter. Kvælstof er essentielt i proteinsyntesen og er en vigtig komponent i det fotosyntetiske apparat (Briskin og Bloom 2010). I det økologiske kredsløb veksler kvælstof mellem at være mineralsk, organisk bundet eller i molekylær form (Figur 1). Store mængder af kvælstof findes i luften, som volumenmæssigt indeholder 77 % N_2 . Den kovalente tripelbinding i N_2 kan brydes, via en naturlig eller industriel proces, hvormed kvælstoffet fikseres som ammonium (NH_4^+). Jordens kvælstofpulje tilføres desuden ammonium, når organisk materiale nedbrydes af bakterier og svampe via ammonifikation. Ammonium kan immobiliseres til organiske former, når det optages af jordmikrober og via nitrifikation, som er en bakteriel proces oxideres til nitrit (NO_2^-) og nitrat (NO_3^-) (Stein og Klotz 2016). Mineralisering betegner de processer, hvor organisk bundet kvælstof omdannes til mineralske former. Både immobilisering og mineralisering sker løbende og når førstnævnte er størst betegnes det netto-mineralisering (Jensen og Magid 1998). Planterne kan optage kvælstof i form af ammonium og nitrat (Briskin og Bloom 2010).



Figur 1. Kvælstofkredsløb. Figur modificeret efter Stein og Klotz (2016).

Nitrat er let opløseligt i jordvæsken, da den med en negativ ladning afstødes af jordkolloidernes overflade, der ligeledes har en negativ ladning. Opløst i jordvæsken kan nitrat perkolere ned gennem jorden. Hvis det når dybere ned end rodzonen, kan det ikke længere udnyttes i dyrkningssystemet og kan ende i grundvandet (Follett og Delgado 2002).

2.2.2 Kvælstofudnyttelse og efterafgrøder

Kvælstofudnyttelsen må forbedres for at imødegå de miljømæssige belastninger, der finder sted, når kvælstof udvaskes og ender i overflade- og grundvand. I Danmark baseres drikkevandet udelukkende på grundvand og derfor er der en særlig interesse i at holde det rent. Nye studier viser, at der er forhøjet risiko for tarmkræft, selv når niveauet er langt under den af EU fastlagte grænseværdi (Schullehner et al. 2018). I et studie af Hansen et al. (2012) blev det fundet, at i 48 % af prøveboringerne var nitratkoncentrationen over grænseværdien. Flere studier har vist, at der er en sammenhæng mellem intensiv landbrugsdyrkning og nitrat i grundvandet (Almasri og Kaluarachchi 2004, Hansen et al. 2012).

En forhøjet kvælstofudnyttelse, hvor udbyttet samtidigt øges vil kræve implementering af forbedrede dyrkningsstrategier, hvilket er omfattende beskrevet i litteraturen indenfor jordbrug, miljø og bæredygtig udvikling (Zhang et al. 2015). En af de beskrevne metoder er at inkludere efterafgrøder i sædskiftet (Meisinger og Delgado 2002, Robertson og Vitousek 2009). Efterafgrøder er et virkemiddel til at højne kvælstofudnyttelsen i dyrkningssystemet og er ved dansk lov pligtigt at medtage i sædskiftet (Miljø- og Fødevareministeriet 2017). I det følgende

bruges termen 'efterafgrøde' udelukkende med reference til kvælstofopsamling i vinterhalvåret og ikke til andre agroøkologiske services, der ellers kan være koblet til efterafgrøder (Silva og Moore 2017).

Formålet med de lovpligtige efterafgrøder er at mindske den kvælstofudvaskning, der kan forekomme mellem høst og etablering af næste afgrøde den følgende sæson. Dette gab i vinterhalvåret, hvor jorden ofte er blotlagt er særligt udsat for udvaskning. Dette skyldes høje nedbørsmængder, der forårsager en høj perkolation af vand gennem jorden og lav evaporation. Samtidig er markerne i denne periode ofte blotlagt uden plantedække, til opsamling af vand og næringsstoffer. Efterafgrøder virker ved at tilføre jorden et levende rodnet, der kan opsamle næring og vand fra jorden i den periode, hvor der er størst risiko for udvaskning. Dybtliggende kvælstof optages i efterafgrødens biomasse og bringes derved op til muldlaget. Kvælstoffet bliver tilgængeligt for de efterfølgende afgrøder, når efterafgrøden nedmuldes og omsættes. Efterafgrøder tilfører ikke nyt kvælstof, men bevarer det der allerede er i dyrkningssystemet, hvorved kvælstofudnyttelsen forøges (Thorup-Kristensen et al. 2003). Efterafgrøder er vanligvis ikke-kommercielle afgrøder så som gul sennep (*Sinapis alba*), olieræddike (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*) og almindelig rajgræs (*Lolium perenne*). I lovgivningen tillades det at erstatte de lovpligtige efterafgrøder med alternativer, herunder energi- og vinterafgrøder sået senest 7. september. Korsblomstrede afgrøder herunder kål, kan anvendes som alternativer, men ellers kan grøntsager ikke erstatte de pligtige efterafgrøder (Miljø- og Miljø- 2017).

Effekten af efterafgrøder afhænger af, hvor meget kvælstof, der er i jorden, jordtypen, vejret, samt hvilke efterafgrøder der anvendes og hvornår de etableres (Goulding 2000). En meta-analyse med 279 observationer af nitratudvaskning viste, at efterafgrøder kunne reducere udvaskningen med 50 % uden at gå på kompromis med udbyttet af hovedafgrøderne (Quemada et al. 2013).

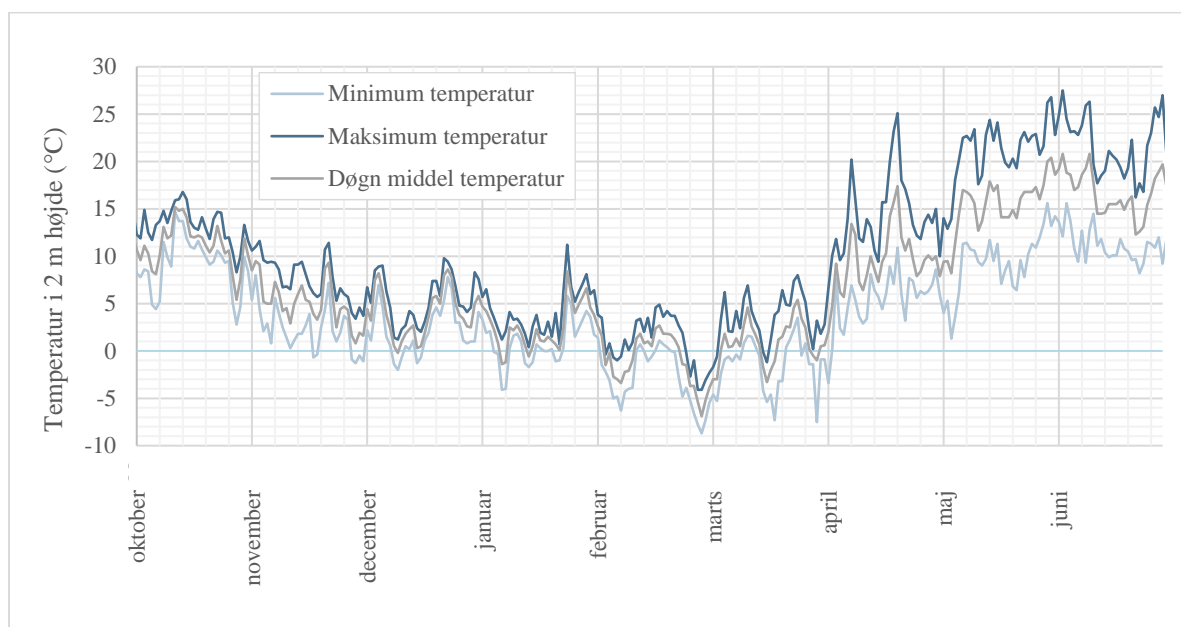
2.2.3 Roddybde og rodvækstrate af efterafgrøder

Dybtliggende nitrater er særligt udsat for udvaskning, når det ligger under afgrødernes rodzone og ikke kan optages (Thorup-Kristensen og Nielsen 1998). Derfor er en stor roddybde en afgørende faktor for efterafgrødernes effektivitet til bevarelse af kvælstof i dyrkningssystemet. I et forsøg af Thorup-Kristensen (2001a) blev rodvæksten af syv forskellige efterafgrøder undersøgt, blandt andet forskellige græsser og to korsblomstrede herunder vinterraps (*Brassica napus*). Det blev fundet, at intensiteten og dybden af rødderne har stor betydning for den

jordvolumen, som planten udnytter og dermed også hvor meget kvælstof der kan optages. Desuden har en hurtig etablering af rodnettets stor betydning for effekten til at opsamle kvælstof, da det netop er i efteråret, hvor efterafgrøderne sås, at der er høj risiko for udvaskning. I forsøget blev det desuden påvist, at vinterrapsen havde et 12 gange så intensivt rodnet som græsserne og var hurtigere om at etablere dybe rødder. Vinterrapsens rodnet var mere ekstensivt i de dybe jordlag under 0,5 m end i de øvre jordlag og det omvendte blev observeret for græsserne. Effekterne deraf var, at det dybtliggende kvælstof var lavere hos vinterrapsen end hos græsserne. Den forskel var ikke lige så tydelig i de øvre 0-0,5 m og korrelerede ikke med nogle af de målte rodparametre. Forfatteren konkluderer, at i de øvre jordlag spiller mange andre faktorer ind på resultaterne herunder hvor levedygtige og aktive planterne er i det sene efterår. I et forsøg af Kristensen og Thorup-Kristensen (2004) blev det ligeledes fundet, at dybrodede arter var gode til at optage kvælstof fra de dybere jordlag. Det blev vist, at foderræddike (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*) havde signifikant større roddebyde og opsamlede mere kvælstof end vinterrug og italiensk rajgræs (*Lolium multiflorum*).

3 Materialer og metoder

Nærværende studie er en del af projektet DoubleCrop, og markforsøget udføres ved Institut for Fødevarer, AU Årsløv, Fyn (55°18'N, 10°26'E) i 2017-2018. Jordtypen er lerblandet sandjord og marken har været dyrket økologisk siden 1996. Temperaturer i 2 m højde og nedbør for Årsløv under forsøgsperioden fra såning i oktober 2017 til høst i juni 2018 ses i Figur 2 og Tabel 1 nedenfor.



Figur 2. Temperatur (°C) i 2 m højde ved Årsløv under forsøgsperioden, fra etablering i oktober 2017 til høst i juni 2018.

Tabel 1. Nedbør (mm) og antal nedbørsdage (over 0,3 mm per dag) for Årsløv 2017-2018.

	sep	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj	jun
Nedbør (mm)	69	90	67	59	80	28	50	63	15	27
Nedbørsdage	17	19	15	19	21	11	16	10	4	6

Kalendervinteren 2017-2018 (december, januar og februar) havde et temperaturgennemsnit på 1,9 °C, hvilket er 0,2 °C varmere end tiårs-gennemsnittet (2006-2015). December og januar lå over tiårs-gennemsnittet, mens februar var koldere. Marts måned lå under temperaturgennemsnittet og havde 23 frostdøgn, hvor gennemsnittet for hele kalenderforåret er 22 døgn. Antallet af døgn med snedække for kalendervinteren lå langt under normalen (1961-1990) med

6,5 mod 24,4 døgn. Mængden af nedbør i december og februar var lavere end tiårsgennemsnittet, mens januar blev vådere (DMI 2018).

3.1 Forsøgsdesign

I forsøget blev forskellige grøntsager og sorter screenet for deres egnethed til overvintring i marken ved sen såning eller plantning. Med i undersøgelsen er spidskål (*Brassica oleracea* var. *capitata* subv. *conica*), spinat (*Spinacia oleracea*), gulerod (*Daucus carota* subv. *sativus*), hvidløg (*Allium sativum*), kepaløg (*Allium cepa*), majroe som bladgrøntsag (*Brassica rapa* var. *rapa*) og vinterrug (*Secale cereale*). For hver afgrøde er der en til tre sorter, en til to så- eller plantetider og en til to såtætheder (Tabel 2). Vinterrug er taget med som reference, da den er en god kvælstofopsamler og er en typisk efterafgrøde med god overvintring. Forfrugten på marken var kløvergræs og afgrøderne blev gødet ultimo september med 50 kg N/ha i form af hønsegødning (Bina-original, NPK 4-1-3, Fausol Productions). For hver afgrøde blev der testet en til tre sorter, en til to så-/plantetider, og en til to tætheder af såningen. Kombinationen af afgrøde, sort, så- eller plantetid og tæthed udgør i alt 22 behandlinger og for hver behandling var der én parcel. For spinat og gulerod er første såtid 18. oktober og anden såtid 7. november. Hvidløg og kepaløg blev sat og spidskål plantet ud 26. oktober. Spidskålen blev sået i potter i drivhus og plantet ud på marken som småplanter. Majroe blev sået 01. november. Spidskål og løgplanter blev dækket med insektnet for at forhindre fugle i at hive planter op.

Tabel 2. Oversigt der viser afgrøder, sorter, så- eller plantetid, antal parceller og plantetæthed.

Afgrøde	Sort	Antalet af så- eller plantetider	Plantetæthed
Spidskål	'Express', 'Erstling' og 'Greyhound'	2	1100 frø/m ²
Spinat	'Matador', 'Butterfly' og 'Winterreisen'	2	3 rk med 120 pl/m
Hvidløg	'Therador' og 'Vallelado'	1	12 løg/m
Kepaløg	'Troy'	1	20 løg/m
Gulerod	'Rothild', 'Nipomo' og 'Oxhella'	2	3 rk med 3/m
Majroe	'Namenia'	1	Tæt: 1000 frø/m ² (tæt) Tre rk: 20 frø/m
Vinterrug	'Livado'	2	140 kg/ha

En markplan blev konstrueret med tilfældig placering af parcellerne. Hver parcel er 10 m lang og 2,5 m bred inklusive trædesti mellem parcellerne. Markplanen og marken ses på nedenstående Tabel 3 og Figur 3.

Tabel 3. Markplan.

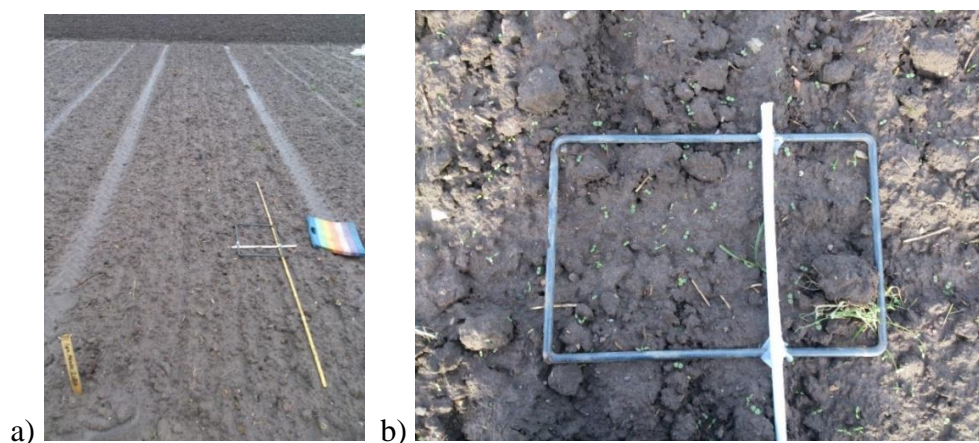
Parcel	Afgrøde	Sort	Så- og plantetid	Parcel	Afgrøde	Sort	Tid
1701	Spinat	Matador	18. okt	1712	Kepaløg	Troy	26. okt.
1702	Gulerod	Rothild	7. nov	1713	Spinat	Winterreisen	18. okt
1703	Hvidløg	Therador	26. okt.	1714	Spidskål	Erstling	26. okt
1704	Gulerod	Nipomo	18. okt	1715	Gulerod	Rothild	18. okt
1705	Vinterrug	Livado	1. okt.	1716	Majroe, tæt	Namenia	1. nov.
1706	Spidskål	Express	26. okt	1717	Spinat	Matador	7. nov
1707	Gulerod	Oxhella	7. nov	1718	Gulerod	Oxhella	18. okt
1708	Spinat	Winterreisen	7. nov	1719	Spidskål	Greyhound	26. okt
1709	Hvidløg	Vallelado	26. okt	1720	Majroe, 3 rk	Namenia	1. nov.
1710	Spinat	Butterfly	18. okt	1721	Gulerod	Nipomo	7. nov
1711	Vinterrug	Livado	1. nov.	1722	Spinat	Butterfly	7. nov



Figur 3. Marken med overvintrende grøntsager i januar 2018. Parcel 1701-1711. Parceller med løg og spidskål er dækket med insektnet. Foto: Lynge, M (12.01.2018)

3.2 Protokol for dataindsamling

Ved to målegange 20.-21. november og 5.-6. december blev fremspiringsprocent, plantedække, højde og antallet af blade målt i parceller med fremspirede afgrøder. Målingerne for hver enkelt parcel blev foretaget 5 steder fordelt over parcellens længde. Dette blev gjort for at opnå større præcision af resultaterne. Et gennemsnit af mange observationer fra samme parcel, frem for en enkelt prøve et sted på parcellen, vil give et mere nøjagtigt billede af hele parcellen. Resultaterne bygger derfor på et gennemsnit fra de fem målefelter fra hver parcel. Hver parcel blev inddelt i fem mindre plots på 2 m i længden, således at hver parcel blev delt i 5 stykker på langs. For at definere stedet for målinger, blev en tomme stok på 2 m lagt ud i parcellens længderetning (Figur 4a). Midt på plottet (ved 1 m) blev en ramme på 25·25 cm placeret (Figur 4b). For hvert plot blev der foretaget målinger i rammens felt en gang.



Figur 4. a) Parcel med ramme lagt ned i første subplot. b) Ramme på 25*25 cm, der definerer målefeltet i hvert subplot.

Fremspiringsprocenten blev fundet ved at tælle alle fremspirede planter i rammens felt. En fremspiret plante blev defineret, som synlig i jordoverfladen og identificerbar som afgrøden. Plantedækket blev estimeret ved en visuel vurdering på baggrund af Braun-Blanquet klassificeringsskalaen for vegetationsdække (Braun-Blanquet 1951). Højden og antallet af udsprungne blade blev bestemt ud fra et gennemsnit af de fem første fremkommende planter inden for rammen. Når ikke der var 5 planter i rammen blev de næst forekommende planter i rækken målt. Højden blev målt med en tomme stok. For spidskålen, der stod i tre rækker, blev der målt på den midterste og alle seks planter indenfor plottet på 2 m blev målt.

3.2.1 Målinger for klorofyl indhold og kalibrering

Målinger for klorofylindhold blev kun foretaget på spidskålen, da de andre afgrøder ikke havde et stort nok bladareale til at dække klorofylmetrets sensor. Klorofylindholdet blev målt i alle tre spidskålssorter den 21. november, 6. december og 12. januar med et non-destruktivt Dualex Scientific+ (Force-A) klorofylmeter (Figur 5).



Figur 5. Måling af klorofylindhold i spidskålsblad med et ikke-destruktivt klorofylmeter af typen Dualex Scientific+ (Force-A). Foto: Lynge, M (12.01.2018).

Målinger for klorofylindhold blev foretaget på tre planter fra hver plot. For hver plante blev der foretaget 4 målinger per blad, målt på fjerde blad fra neden. Målinger og afklip af plantemateriale til kalibrering blev der foretaget den 12. januar. Her blev bladene skåret af, målt fire gange med klorofylmeteret hver især og kommet i en pose. Bladene fra samme plot blev puljet til en prøve. Poserne blev med det samme lagt i en frysetaske med is for at hindre en ændring i klorofylindhold. I laboratoriet blev bladene skyllet for rester af jord i demineraliseret vand. Derefter blev de lagt på papir og duppet tørre. Hver prøve blev lagt i stanniol og kommet i en dybfryser (-80 °). Efterfølgende blev prøverne frysetørret og lagt i dybfryseren igen indtil prøvetagningen for klorofylindhold. De frysetørrede prøver blev pulveriseret i en kuglemølle (Retsch MM200) ved 22 hertz i et minut. Derefter blev 8-10 mg fra hver prøve sat til at trække i 4 ml 96 % ethanol i 2 timer på køl. Prøverne blev rystet i en vortex (Scientific Industries, Genie 2) ved start og efter en time. Prøverne blev centrifugeret (Sigma, 4-16 K) og derefter blev 800 µl analyseret i en semi-mikro kuvette i et spektrofometer (Shimadzu, UV-1700 PharmaSpec). Absorbansen af ekstraktet blev målt ved 470,0, 648,6 og 664,2 nm. Indholdet af klorofyl blev fundet ud fra følgende formler efter Lichtenthaler (1987):

$$\text{Klorofyl a} = \frac{(13,36A_{664,2} - 5,19A_{648,6})^4}{tv} \quad [mg \ g^{-1} \ tv]$$

$$\text{Klorofyl b} = \frac{(27,43A_{648,6} - 8,12A_{664,2})^4}{tv} \quad [mg \ g^{-1} \ tv]$$

Hvor $A_{648,6}$ er absorbansen ved 648,6 nm, $A_{664,2}$ er absorbansen ved 664,2 nm og tv er tørvægten af det ekstraherede plantemateriale. Faktoren '4' i tælleren er mængden af 96 % ethanol i ml anvendt i ekstraktionen.

3.3 Jordtemperatur

Jordtemperaturen blev målt fra 5. december til 23. maj med seks dataloggere (Tinytag Talk 2) i parcel 1705. Dataloggerne var placeret i parcellens to ender og i midten med en datalogger i 5 og 10 cm dybde for hver placering.

3.4 Kvælstofanalyse

Jordens indhold af mineralsk kvælstof (ammonium og nitrat) blev målt i dybderne 0-0,25 m; 0,25-0,5 m; 0,5-1 m; 1-1,5 m og 1,5-2,5 m. Prøvetagning fandt sted inden såning 9 oktober og under væksten den 12. april. Desuden blev der foretaget kvælstofanalyser af det høstede plantemateriale. Prøveindsamling blev foretaget af teknikere ved AU Årsløv, Institut for Fødevarer og analyserne ved Agrolab.

3.5 Dataanalyse

Grundet de økonomiske og tidsmæssige rammer for nærværende screeningsforsøg er der ingen gentagelser af behandlingerne i marken. Derfor tillader designet ikke, at der laves statistiske beregninger og dataanalyse. Resultaterne skal tolkes som tendenser og indikationer frem for signifikante forskelle. For hver behandling er der foretaget mange observationer for hver målegang frem for en enkelt stikprøve, således at resultatet bliver mere præcist. Resultaterne præsenteres i kassediagrammer, der viser kvartiler, median, middelværdier og varians, således at observationernes fordeling i hver behandling fremgår.

4 Resultater

I dette afsnit præsenteres resultaterne af forsøget med overvintrende grøntsager. Hver grøntsag har sit eget afsnit, med gennemgang af observationer og målinger af overlevelse og udbytte. Resultaterne af kvælstofindholdet i jorden og i planternes overjordiske biomasse præsenteres samlet i et afsnit efterfølgende.

På grund af forsøgets karakter som screeningsforsøg og mangel på gentagelser i marken, er der ikke belæg for at beregne statistiske forskelle. De forekommende resultater skal derfor ses som tendenser og indikationer snarere end signifikante forskelle.

4.1 Spidskål

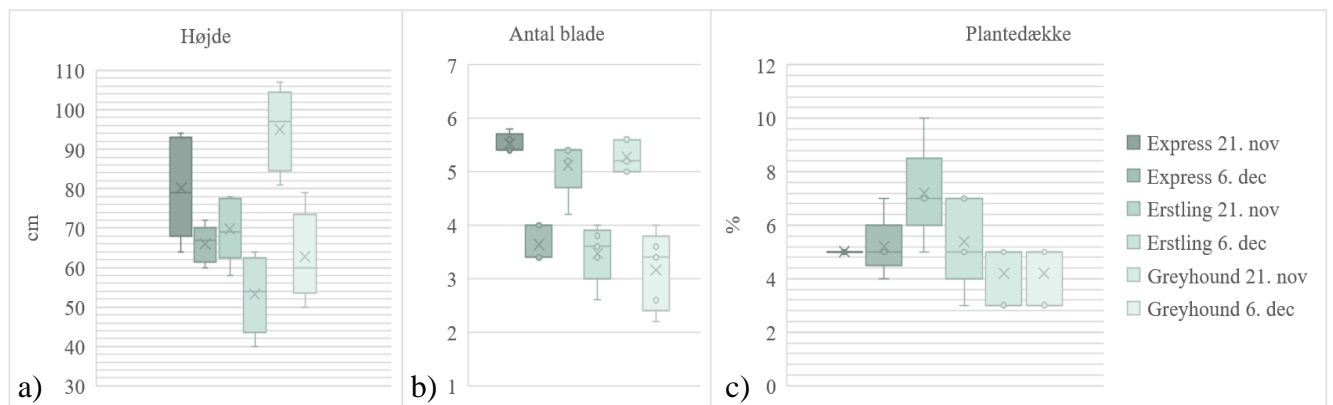
Ingen af spidskålssorterne overvintrede.

Spidskålen blev plantet ud i marken som småplanter og derfor er etablering 100 %. Figur 6 viser sorten 'Greyhound' den 6. december.



Figur 6. Spidskålssorten 'Greyhound' udplantet den 26. oktober 2017. Foto: Lynge, M (06.12.2017).

Højde, antal blade og plantedække blev målt den 21. november og den 6. december og fremgår af Figur 7.



Figur 7. a) Højde, b) antal blade og c) plantedække af spidskålssorterne 'Express', 'Erstling' og 'Greyhound' målt den 21. november og 6. december 2017. I kassediagrammet angiver krydset middelværdien. Kasserne indikerer nedre og øvre kvartil, mens strengen i kassen angiver medianen. Halerne angiver variansen udenfor nedre og øvre kvartil.

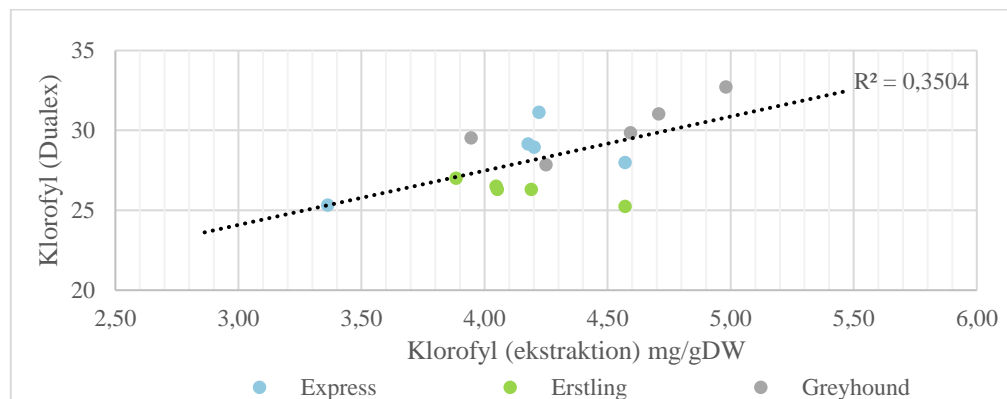
Højdemæssigt lå sorterne i gennemsnit på 95 cm, 80 cm og 70 cm for henholdsvis 'Greyhound', 'Express' og 'Erstling'. Antallet af blade var stort set ens for sorterne med et gennemsnit på 5,3 den 21. november, hvilket antyder at sorterne er på samme udviklingsstadium. Både højden og antallet af blade faldt fra den 21. november til den 6. december for alle sorterne. Planterne er visnet en anelse tilbage, men faldet lader til især at være forårsaget af snegleangreb, der for nogle af planterne betød, at næsten alle blade var spist (Figur 8). Trods 'Erstlings' laveste højde ligger denne sort øverst hvad angår plantedække den 21. november med et gennemsnit på 7,2 % mod 5 % og 4,2 % for henholdsvis 'Express' og 'Erstling'.



Figur 8. Spidskålssorten 'Express' er spist, formentlig af snegle. Foto: Lynge, M., (06.12.2018).

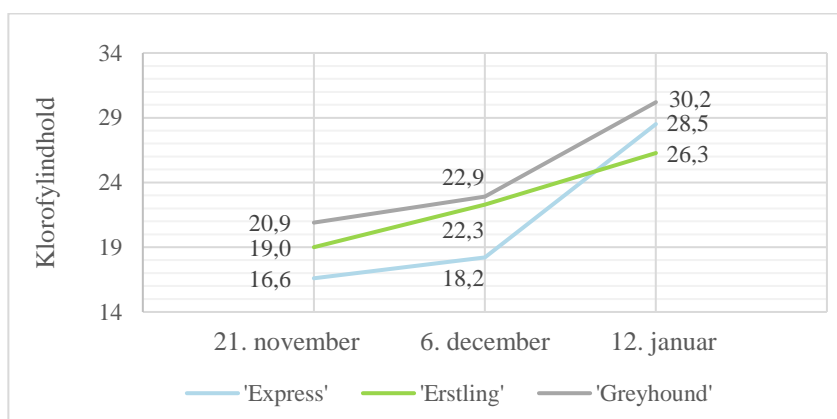
4.1.1 Klorofyl

Kalibreringskurven fremgår af Figur 9 nedenfor med $R^2 = 0,35$.



Figur 9. Sammenligning af klorofylindhold i blade af spidskål målt med et nondestruktiv, Dualux Scientific+ klorofylmeter og ved ekstraktion. De nondestruktive målinger er foretaget den 12. november 2018 og ekstraktionen den 20. februar 2019.

Ved lineær regression var den opnåede $R^2 = 0,35$ og ved en potensfunktion opnås $R^2 = 0,34$ (resultater ikke vist). På grund af de lave R^2 værdier vurderes det, at der ingen sammenhæng er mellem resultaterne fra de to metoder til klorofylbestemmelse. Resultaterne fra de nondestruktive klorofylmålinger er vist i Figur 18 nedenfor. Da målingerne ikke kan kalibreres, er de uden enhed.

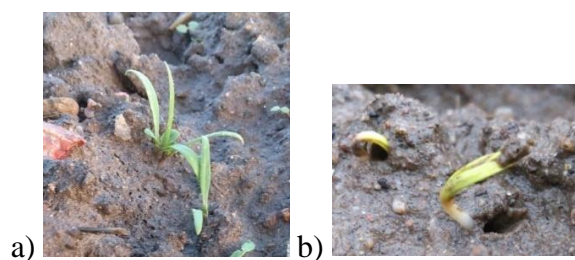


Figur 10. Klorofylindhold (relativ enhed) fundet ved nondestruktiv metode (Dualux klorofylmeter) i blade af spidskål af soterne 'Express', 'Erstling' og 'Greyhound'. Klorofylindholdet er bestemt den 21. november, 06. december 2017 og 12. januar 2018.

Stigningen fra 21. november til 12. januar ligger på 7,3, 9,3 og 11,9 for henholdsvis 'Erstling', 'Greyhound' og 'Express'.

4.2 Spinat

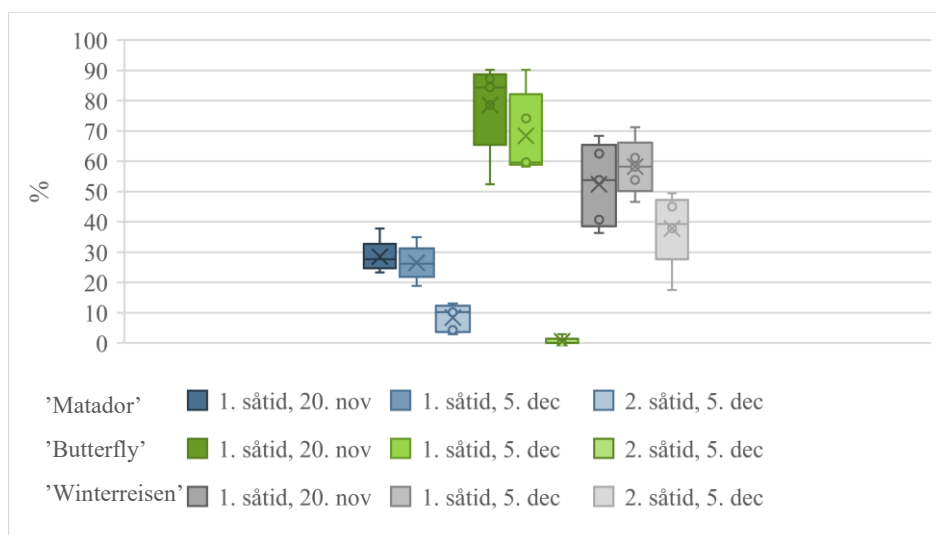
Alle parceller med spinat overvintrede og der var ingen forskel på såtider eller sorter. Høst blev foretaget af 'Matador' (begge såtider) og ikke af 'Butterfly' og 'Winterreisen'. Grunden dertil var tidsmangel hos teknikerne og 'Matador' blev skønnet til at have det højeste udbytte. Dette kan eventuelt skyldes, at flere planter overvintrede hos 'Matador' i forhold til de to andre sorter. Nedenfor på Figur 11 ses den størrelse planterne gik vinteren i møde med.



Figur 11. a) Spinat 'Matador' fra første såtid (18. oktober 2017). b) Spinat 'Winterreisen' fra anden såtid (7. november 2017) Foto: Lyng, M (05.12.2017).

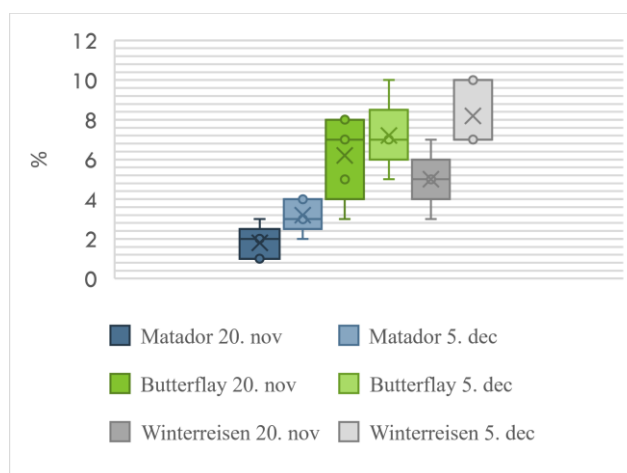
4.2.1 Fremspiring, plantedække og højde

Fremspiringsprocenten af spinatsorterne 'Matador', 'Butterfly' og 'Winterreisen' fra første såtid (18. oktober) blev målt den 20. november og den 5. december 2017 (Figur 12). Spinaten fra anden såtid (7. november) var ikke spiret 20. november og derfor er der ingen resultater for denne dato. Fremspiringsprocenten kunne derimod måles den 5. december.



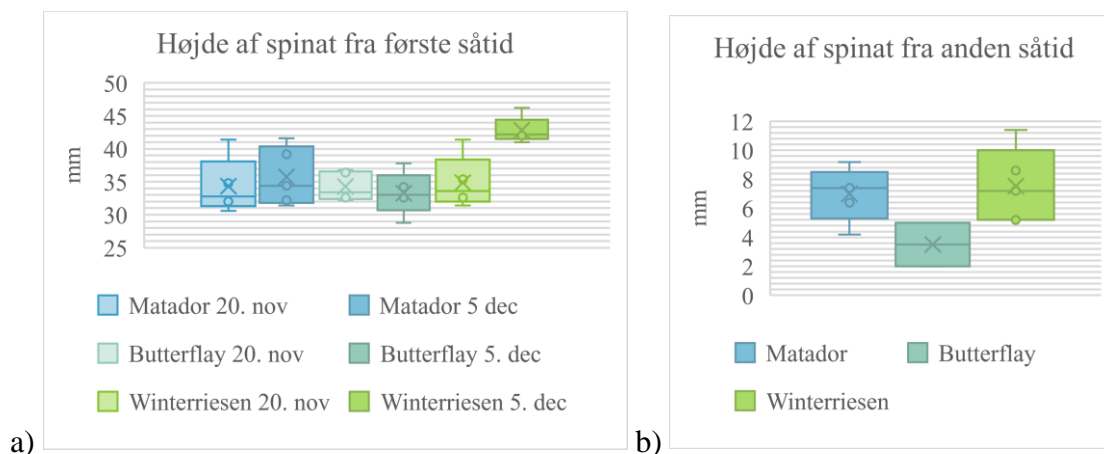
Figur 12: Fremspiringsprocenten af spinat målt 20. november og 5. december for de tre spinatsorter 'Matador', 'Butterfly' og 'Winterreisen'. Første såtid er den 18. oktober 2017 og anden såtid er den 7. november 2017. I kassediagrammet angiver krydset middelværdien. Kasserne indikerer nedre og øvre kvartil, mens stregen i kassen angiver medianen. Halerne angiver variansen udenfor nedre og øvre kvartil.

Fremspiringsprocenten var markant lavest hos sorten 'Matador' ved begge måledage med et gennemsnit på henholdsvis 29 % og 26 % for den 20. november og 5. december, mens den for 'Butterfly' lå på 54 % og 47 % og for 'Winterreisen' på 36 % og 40 %. Fremspiringsprocenten for planterne fra anden såtid er generelt lavere end ved første såtid og fordelingen ser anderledes ud. 'Butterfly' har den laveste fremspiring med et gennemsnit på 1 %, mens 'Matador' ligger i midten med 8 % og 'Winterreisen' på 38 %. Plantedækket blev målt 20. november og 05. december for spinaten fra første såtid (Figur 13).



Figur 13. Plantedække af spinat fra første såtid målt 20. november og 05. december for de tre spinatsorter 'Matador', 'Butterfly' og 'Winterreisen'. Første såtid er den 18. oktober 2017 og anden såtid er den 7. november 2017. I kassediagrammet angiver krydset middelværdien. Kasserne indikerer nedre og øvre kvartil, mens stregen i kassen angiver medianen. Halerne angiver variansen udenfor nedre og øvre kvartil.

Plantedækket er generelt lavt og ligger i gennemsnit fra 1,8 – 8,2 %. For alle sorter stiger andelen fra den 20. november til den 5. december. 'Matador' har det mindste dække og ligger på henholdsvis 1,8 % og 3,2 % for den 20. november og 5. december. 'Butterfly' går fra 6,2 - 7,2 % og 'Winterreisen' fra 5,0 – 8,2 % fra den 20. november til den 5. december. For spinaten fra anden såtid er det gennemsnitlige plantedække den 5. december på 1 % for 'Matador' og 'Winterreisen', mens det for 'Butterfly' er 0,2 procent. Ukrudtsdækket blev ved hver målegang målt til 1 % på samtlige parceller. Højden blev målt af fremspirede spinatplanter den 20. november og 5. december for planter fra første såtid og den 5. december for planter fra anden såtid. Resultaterne ses i Figur 14.



Figur 14. Højde af de tre spinatsorter 'Matador', 'Butterfly' og 'Winterreisen'. a) Spinat fra første såtid målt den 20. november og 5. december. b) Spinat fra anden såtid målt den 5. december. Første såtid er den 18. oktober 2017 og anden såtid er den 7. november 2017. I kassediagrammet angiver krydset middelværdien. Kasserne indikerer nedre og øvre kvartil, mens strengen i kassen angiver medianen. Halerne angiver variansen udenfor nedre og øvre kvartil.

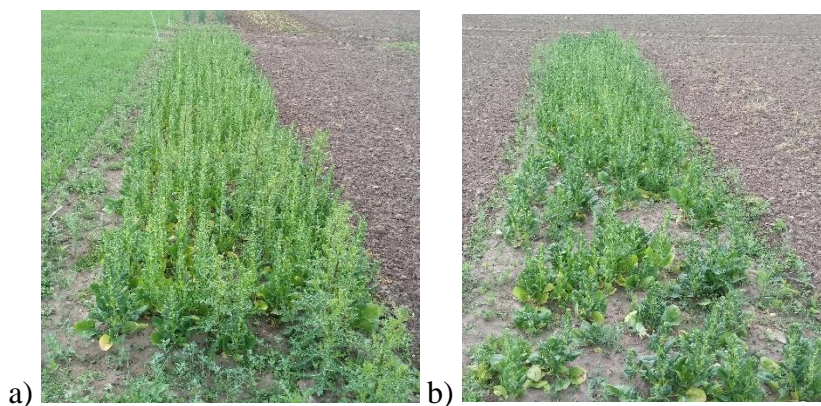
Højden på planterne er generelt meget ens ved første såtid og gennemsnittet mellem 33,3 - 35,8 mm, når man ikke medregner 'Winterreisen' målt den 5. december. Her var gennemsnittet noget højere og lå på 42,8 mm. Ved anden såtid ligger 'Matador' og 'Winterreisen' meget tæt med gennemsnit henholdsvis 7,0 mm og 7,5 mm, men 'Butterfly' er lavest med et gennemsnit på 3,5 mm.

Antallet af blade var for første såtid på begge måledage i gennemsnit 3,7 hvilket svarer til vækststadie 12. For anden såtid var antallet af blade for 'Winterreisen' på 1,3, 'Matador' på 0,9 og 'Butterfly' havde i gennemsnit 0 blade, dog med nogle få synlige planter hvor kimbladene ikke var fuldt udfoldet. På Figur 15 nedenfor ses de tre sorter 'Matador', 'Butterfly' og 'Winterreisen' fra første såtid den 5. december.



Figur 15. Spinat fra første såtid (18. oktober 2017). a) 'Matador', b) 'Butterfly' og c) 'Winterreisen'. Foto: Lynge, M (05.12.17).

Overlevelsesraten blev ikke målt, men nedenstående foto (Figur 16) illustrerer, at der for 'Matador's anden såtid var bare huller i plantedækket og at det ikke er alle planter, der har overvintret.



Figur 16. Spinatsorten 'Matador' umiddelbart inden høst fra a) første såtid og b) anden såtid. Første såtid er 18. oktober og anden såtid er 7. november. Høst blev foretaget 04.06.2018. Foto: Bergmann, A (29.05.2018).

4.2.2 Udbytte og kvælstofindhold

Høst af spinat foregik den 4. juni 2018. Da 'Matador' ud fra visuelle observationer fra det tekniske personale havde størst udbytte, blev der kun høstet af denne (Tabel 4). Spinaten var i gået i stok inden høsten, hvorfor de høje udbytter.

Tabel 4. Høstresultater fra spinatsorten 'Matador'.
Høstdato: 4. juni 2018. Første såtid er 18. oktober og anden såtid er 7. november.

Såtid	Udbytte t ha ⁻¹	kvælstof kg ha ⁻¹
Første såtid	18	202
Anden såtid	15	204

4.3 Hvidløg og kepaløg

Alle løg overvintrede. Hvidløg- og kepaløgspirer blev første gang observeret den 12. januar 2018 (Figur 17) nedenfor. Der blev ikke foretaget målinger af fremspiringsprocent, plantedække og højde.



Figur 17. a) Kepaløg 'Troy', b) hvidløg 'Therador' og c) hvidløg 'Vallelado'. Alle løg er sat den 26. oktober 2017. Foto: Lynge, M (12.01.2018).

4.3.1 Udbytte og kvælstofindhold

Kepaløg blev høstet 14. juni og hvidløg 28. juni. Resultater for høstudbytte fremgår af Tabel 5 nedenfor.

Tabel 5. Høstresultater fra løg. Kepaløg 'Troy' er høstet 14. juni, hvidløg 'Therador' er høstet 28. juni og 'Vallelado' er høstet 25. juni 2018.

	I alt				Salgbare		Kasseret	
	Antal/m ²	t/ha	kg N/ha		t/ha	g/stk	Antal/m ²	t/ha
Kepaløg 'Troy'	33	31	384	21	19	90	11	13
Hvidløg 'Therador'	14	12	164	13	12	87	1	0,4
Hvidløg 'Vallelado'	15	9	132	12	8	70	3	0,6

Udbyttet af salgbare kepaløg 'Troy' lå på 64 % af den samlede høst. En stor andel blev kasseret på grund af stokløbning, som udgjorde 29 % af den samlede høst. Kvælstofindholdet i kepaløg var meget højere end hos hvidløget og lå på 384 kg/ha. Antallet af salgbare hvidløg var stort set det samme for de to sorter 'Therador' og 'Vallelado', men i vægt var der for 'Vallelado' 28 % mindre end 'Therador' af salgbare løg. Det totale kvælstofindhold for 'Vallelado' var ligeledes mindst med 31,2 kg N ha⁻¹ under indholdet fra 'Therador'.

Et udsnit af høstkvaliteten for løg ses i Figur 8 nedenfor.



Figur 18. Høstkvalitet af løg. a) Kepaløg 'Troy' høstet den 14. juni 2018. b) Hvidløg 'Vallelado' og c) 'Therador' høstet 28. juni 2018. Foto: Bergmann, A.

4.4 Gulerod

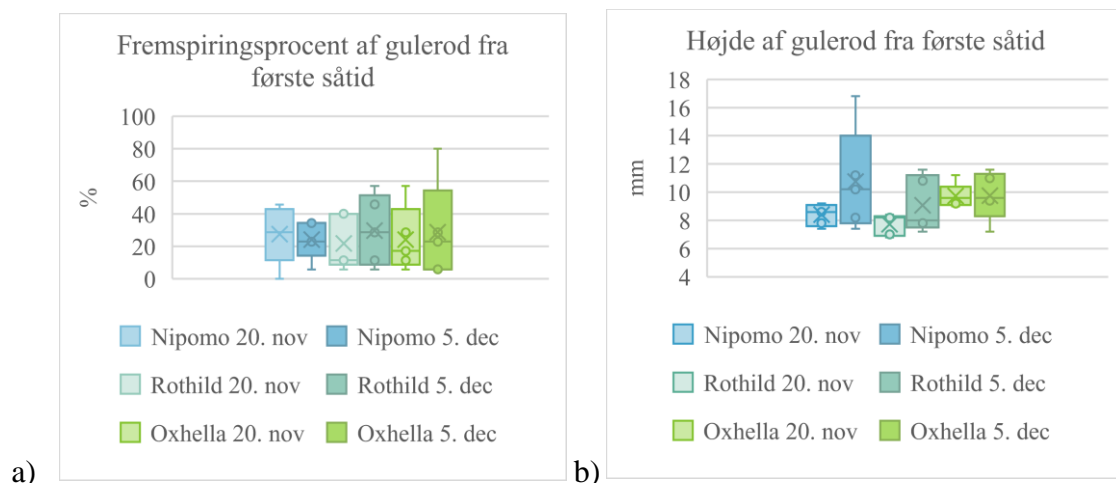
Der var ingen vinteroverlevelse af gulerødder for de forskellige sorter eller såtider.

Fremspiring af gulerødder fra første såtid blev observeret den 20. november og målinger foreligger for denne dag, samt den 5. december. Gulerødder fra anden såtid var ikke spiret under de to målegange og derfor er der ingen resultater fra disse. Nedenfor på Figur 19 ses gulerodsspirer af sorterne 'Nipomo', 'Rothild' og 'Oxhella'.



Figur 19. Gulerod fra første såtid (18. oktober 2017). a) 'Nipomo' (parcel 1704). b) 'Rothild' (parcel 1715). c) 'Oxhella'. Foto: Lynge, M (05.12.2017).

Resultater af fremspiringsprocent og højde for gulerødder fra første såtid fremgår af Figur 19.



Figur 19. a) Fremspiringsprocent og b) højde af gulerødder fra første såtid. Begge dele er målt for de tre sorter 'Nipomo', 'Rothild' og 'Oxhella' den 20. november og 5. december. Første såtid er den 18. oktober 2017. I kassediagrammet angiver krydset middelværdien. Kasserne indikerer nedre og øvre kvartil, mens stregen i kassen angiver medianen. Halerne angiver variansen udenfor nedre og øvre kvartil.

Fremspiringen og højde er meget ens for de tre sorter og varierer ikke betydeligt fra den 20. november til den 5. december. Dog ses der for højden en tendens til at spredningen af målingerne er større den 5. december end den 20. november. Det gennemsnitlige antal blade ligger for samtlige kimplanter på 2 både den 20. november og 5. december. Plantedækket er på ca. 1 % for alle sorter.

4.5 Majroe

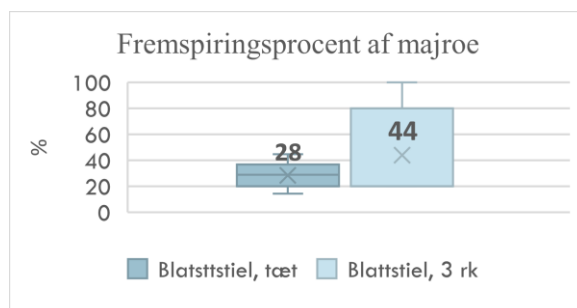
Majroerne overvintrede ikke.

Majroesorten 'Namenia' spirede efter den 21. november og måleresultater foreligger derfor kun fra den 5. december. Nedenfor på Figur 20 ses den tætsåede majroe.



Figur 20. Majroesorten 'Namenia' (tæt såtæthed) sået den 1. november 2017. Foto: Lynge, M (05.12.2017).

Fremspiringen af majroe ses i Figur 21 nedenfor.



Figur 21. Fremspiringsprocent af majroe sået den 1. november. Målingerne er foretaget den 5. december 2017. I kassediagrammet angiver krydset middelværdien. Kasserne indikerer nedre og øvre kvartil, mens stregen i kassen angiver medianen. Halerne angiver variansen udenfor nedre og øvre kvartil.

Fremspiringen var højest hos majroe sået i tre rækker med et gennemsnit på 44 % mod 28 % for den tætsåede majroe. Spredningen af måleobservationerne var stor for majroe sået i tre rækker med en variation på 20-100 %, hvilket kan tyde på en uensartet såning eller uensartede jordforhold i parcellen. Det sidste burde dog ikke være tilfældet. Højden på majroe var meget ensartet for både den tætsåede og den i tre rækker og var i gennemsnit 6-7 mm.

4.6 Vinterrug

Vinterrug fra begge såtider overvintrede. Vinterrug fra første såtid (1. oktober) var spiret frem den 5. december (Figur 22) og havde et plantedækket på 1 % i gennemsnit. Ukrudt udgjorde ligeledes 1 %. Højden på planterne var i gennemsnit 6 cm og antallet af blade 2,4. Vinterrugen fra anden såtid (1. november) var svagt fremspiret den 12. januar 2018.



Figur 22. Vinterrugsorten 'Livado' fra første såtid (1. oktober 2017). Foto: Lynge, M (06.12.2017).

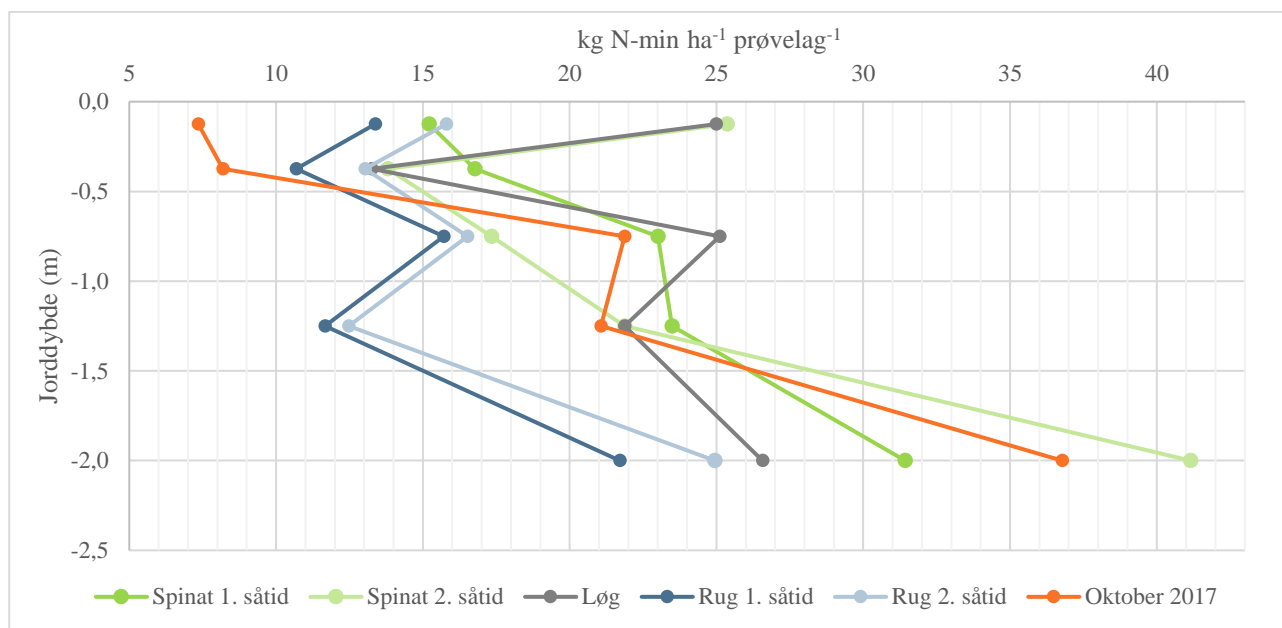
Vinterrugen fra både første og anden såtid blev høstet den 28. juni. Resultaterne fremgår af Tabel 6 nedenfor.

<i>Tabel 6. Høstresultater fra vinterrug høstet den 28. juni 2018. Første såtid er 1. oktober, mens anden såtid er 1. november.</i>		
	Udbytte	Kvælstof
Såtid	t/ha	kg/ha
Første såtid	19,2	155
Anden såtid	14,5	98

Udbyttet af vinterrugen fra anden såtid på 14,5 tons ha⁻¹ ligger 20 % under udbyttet af vinterrugen fra første såtid, som er på 19,2 ha⁻¹. Ligeledes ligger kvælstofindholdet fra anden såtid lidt under det fra første såtid. Dette medfører et fald i kvælstofindhold per arealenhed på 35 % når såtidspunktet er den 1. november frem for 1. oktober.

4.7 Kvælstofindhold

Kvælstofindhold i jorden blev målt den 9. oktober 2017, inden afgrøderne blev sået og plantet, samt den 12. april 2018 for de overvintrede planter (Figur 23). Flere af resultaterne stammer fra puljede prøver. 'Spinat første såtid' dækker over puljede prøver med samtlige spinatsorter fra første såtid (parcel 1701, 1710 og 1713) og 'Spinat anden såtid' er ligeledes puljede prøver med spinatsorter fra anden såtid (parcel 1708, 1717 og 1722). 'Løg' er de puljede prøver fra parceller med kepaløg og hvidløg (parcel 1713, 1709, 1712).



Figur 23. Kvælstofanalyser af puljede jordprøver. Prøverne er taget den 12. april 2018, bortset fra prøven 'oktober 2017' der er fra den 9. oktober 2017.

Alle resultater fra kvælstofanalyser af planter og jord er samlet i Tabel 7 nedenfor.

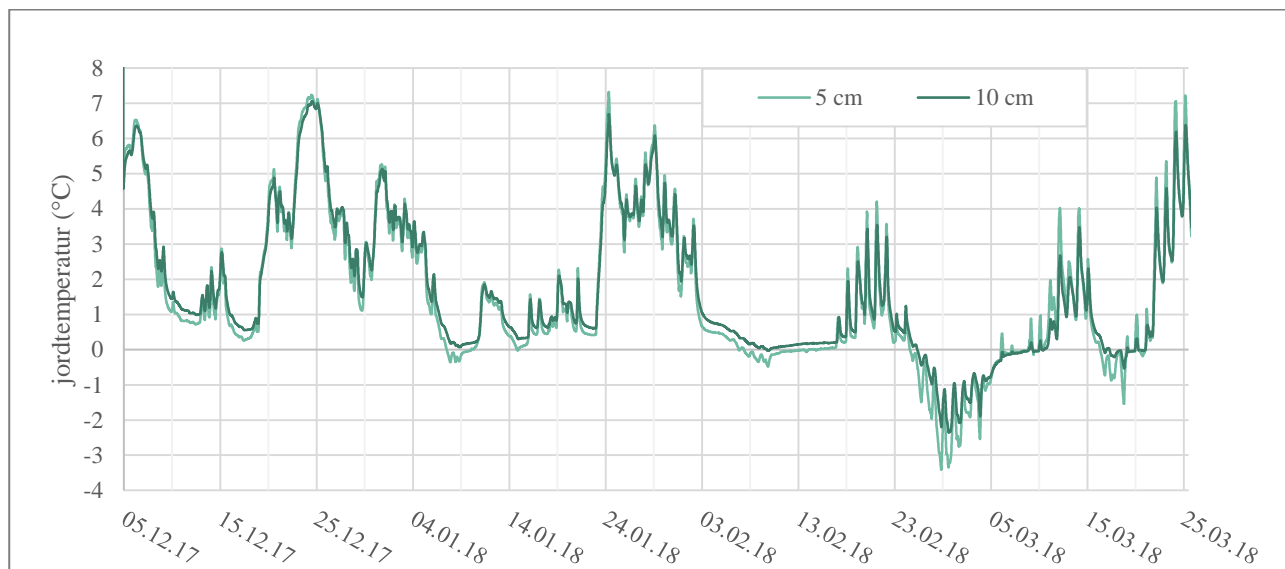
Tabel 7. Kvælstofindhold fra jordprøver (kg N-min ha⁻¹) og planteprøver (kg N ha⁻¹). Jordprøver er foretaget 09.10.17 i bar jord og 12.04.18 i parceller med overvintrede afgrøder i dybderne 0-25 cm, 25-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm og 150-250 cm. Kvælstofanalyse af overjordisk plantemateriale er foretaget ved høst. Høstdatoer: Spinat 'Matador' første og anden såtid 04.06.18; Kepaløg 14.06.18; hvidløg 'Therador' og 'Vallelado' 28.06.18; vinterrug første og anden såtid 28.06.18.

	0-0,25	0,25-0,5	0,50-1	1-1,5	1,5-2,5	I alt	Overjordisk plantemasse
Oktober 2017	7	8	22	21	37	95	-
Spinat første såtid	15	17	23	23	31	110	202
Spinat anden såtid	25	14	17	22	41	120	204
Løg	25	13	25	22	27	112	227
Vinterrug første såtid	13	11	16	12	22	73	152
Vinterrug anden såtid	16	13	17	12	25	83	98

Fordeling af kvælstof i overjordisk plantemasse i løgpuljen (kg N ha ⁻¹)	
Kepaløg 'Troy'	384
Hvidløg 'Vallelado'	164
Hvidløg 'Therador'	133

4.8 Jordtemperatur

Jordtemperaturen blev målt fra den 5. december 2017, inden der kom hård frost og frem til den 23. maj 2018. Målingerne fandt sted i 5 cm og 10 cm dybde i en af parcellerne (parcel 1711). For hver dybde blev der foretaget tre målinger, og resultaterne i Figur 24 er et gennemsnit af disse.



Figur 24. Jordtemperatur (°C) i forsøgsmarken i vinteren 2017-2018 i 5 og 10 cm dybde.

Af grafen fremgår det, at i den første del af vinteren er jordtemperaturen kun med få undtagelser over frysepunktet. I slutningen af februar falder temperaturen. Fra ca. den 22. februar kommer temperaturen under frysepunktet og ligger der indtil ca. 6 marts. Minimumstemperaturen er ca. -3,5 C. Herefter veksler temperaturen omkring frysepunktet og har i marts måned flere dyk under frysepunktet.

5 Diskussion

Nærværende studie er et screenings-forsøg, hvor designet ikke tillader statistiske beregninger. I følgende afsnit diskuteres, hvordan et alternativt design kan opsættes, således at signifikansberegninger kan foretages.

Derefter diskuteres resultaterne med forbehold for forsøgets begrænsninger og de sammenholdes med den videnskabelige litteratur indenfor området. Først gennemgås grøntsagernes overvintring og udbytterne vurderes i forhold til såtiderne. Dernæst gennemgås de overvintrede grøntsagernes effekt på jordens indhold af kvælstof og indflydelse på fordelingen af kvælstof i jordprofilen med vinterrug som reference.

5.1 Statistiske begrænsninger i nærværende forsøg

Dette projekt er et eksternt finansieret screeningsforsøg, der indenfor fastlagte økonomiske og tidsmæssige rammer screener udvalgte grøntsager til overvintring. På grund af forsøgets begrænsninger er der ingen gentagelser i marken. Det vil sige, at hver behandling (kombination af art, sort, så- eller plantetid og tæthed) kun repræsenteres af en parcel i marken. Derved er det ikke muligt at opnå randomisering i målingerne og der kan ikke laves en traditionel og stærk statistisk signifikansanalyse. Resultaterne skal analyseres med det forbehold, at forskelle på behandlinger ikke kan vurderes ud fra om de er signifikante eller ej. Resultaterne skal tolkes som tendenser og indikationer.

I screeningsforsøget er et stort antal behandlinger (22) valgt til fordel for et mindre antal behandlinger med gentagelser. Når mange behandlinger undersøges, er der et bredere grundlag til udvælgelse af de mest lovende til videre arbejde. For hver behandling er der foretaget mange observationer for hver målegang frem for en enkelt stikprøve, således at resultatet bliver mere præcist. Resultaterne præsenteres i kassediagrammer, der viser kvartiler, median og middelværdier, således at observationernes fordelingen i hver behandling fremgår. Selvom de mange observationer fra hver parcel er afhængige af hinanden, vil spredningen af information kunne sige noget om, hvor ensartede de enkelte parceller er. Dog må en lille frem for en stor spredning indenfor en behandling ikke forveksles med et mere korrekt resultat, da dette vil kræve gentagelser i marken.

5.1.1 Eksempel på forsøgsdesign der tillader statistisk analyse

For at lave en valid statistisk analyse kræves der uafhængige gentagelser af de forskellige behandlinger. Det vil sige flere parceller med samme behandling tilfældigt fordelt på marken, således at der kan tages højde for variationer. Variationerne på marken kunne være vindforhold og læ, næring og vandpotentiale i jorden, jordtekstur. Sådan et forsøgsdesign kan være et komplet blokdesign med randomiseret placering af behandlingerne. Ved et blokdesign minimeres eksperimentelle fejl, der kan opstå, når uvedkommende faktorerers påvirkning ikke kan undgås, hvilket er tilfældet med markforsøg. Blokkene skal placeres tæt på hinanden, med ensartede forhold for vind/læ, jordtype, forfrugt osv. Ved randomisering bliver behandlingernes orden i blokkene tilfældigt fordelt. Antallet af replikationer af blokke skal søges så højt som muligt i et design for at opnå en stærkere statistisk analyse. I Tabel 25 nedenfor ses et eksempel på et komplet randomiseret blokdesign med 12 behandlinger med tre blokke. 12 forskellige behandlinger kunne være to grøntsagsarter med to sorter og tre såtider. Resultaterne kan testes med en multivariat analyse, der analyserer flere variabler på samme tid. Variablerne kan være art, sort og såtid.

Figur 25. Randomiseret komplet blokdesign, med tre blokke og 12 behandlinger. Forsøgsdesignet tillader statiske beregninger.

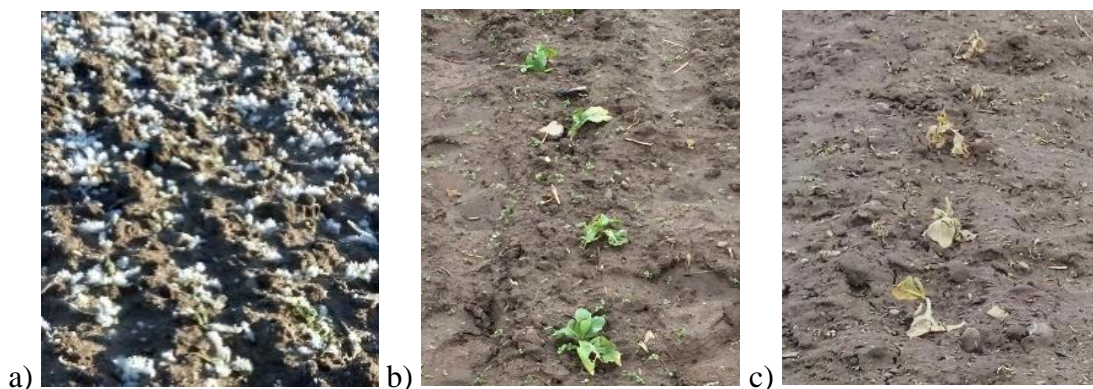
Blok	Parcel	Behandling	Blok	Parcel	Behandling	Blok	Parcel	Behandling
1	1	12	2	13	6	3	25	4
	2	3		14	10		26	9
	3	9		15	8		27	11
	4	5		16	1		28	7
	5	1		17	4		29	2
	6	7		18	11		30	6
	7	6		19	3		31	12
	8	10		20	9		32	5
	9	2		21	5		33	8
	10	11		22	12		34	1
	11	8		23	2		35	10
	12	4		24	7		36	3

5.2 Overvintring

En vellykket overvintring af grøntsagerne var kriteriet for at opnå en forøgelse af udbyttet og sæsonen. Selvom spidskål, gulerod og majroe udvintrede, kan der stadig være et potentiale for disse. Årsfaktoren kan have stor indflydelse og det er tænkeligt at de ovenfor nævnte grøntsager kan overvintre i andre år. Desuden kan der ændres på sortsvalg, så- eller plantetider.

En fuld hærkning af frosthårdføreheden er højst sandsynligt opnået for alle grøntsager, da efteråret og december bød på lave temperaturer over frysepunktet over en lang periode (Levitt 1980, Xin og Browse 2000). Det udslagsgivende for manglende overvintring kan muligvis findes i, at det genetiske grundlag ikke har tilladt en tilstrækkelig frosttolerance (Xin og Browse 2000, John et al. 2016). Hvis dette er tilfældet, kan andre, mere frosthårdføre sorter testes. Dertil kommer, at grøntsagerne kan have været på udviklingsstadier, der ikke var optimale for maksimal frosttolerance (Arakeri og Schmid 1949, Meyer og Badaruddin 2001, Jacobsen et al. 2005). I så fald kan så- eller plantetiderne ændres. Dog melder forsøgsresultaterne ikke noget om dette.

Spidskål, gulerod og majroe udvintrede mellem 12. januar og 12. marts (Figur 26). Frosten på -4 °C den 7. januar var tilsyneladende ikke letal, da der ved markobservation den 12. januar ikke sås tegn på frostskader hos nogen af grøntsagerne, som fx kollaps af væv på grund af punkterede celler. Det er dog ikke sikkert, at frostskader er synlige efter 5 dage, da de kan være flere uger om at indtræffe (Burke et al. 1976). Derfor er det muligt at frosten på -4 °C har været letal. Den næst følgende markobservation var 12. marts, og på dette tidspunkt havde de grøntsager, der ikke havde overvintret, taget stor skade og begyndte ikke at gro igen.



Figur 26. a) Spinat 'Matador' dækket af rimfrost den 8. januar, b) spidskål 'Erstling' den 12. januar ser ikke ud til at have taget skade af frosten, c) spidskål 'Erstling' har den 12. marts taget stor skade, og vævet er kollapsede. Foto a) og c): Bergmann, A., Foto b): Lynge, M.

Kolde temperaturer mellem 12. januar og 12. marts (Figur 24) kan have oversteget den maksimale frosttolerance for grøntsagerne. Men der er også sandsynlighed for, at den hærdede frosttolerance var ophævet under varmeperioderne i januar og februar (op til 11,2 °C), således at frosten, der kom ultimo februar og primo marts har været fatal (ned til -8,7 °C). Ophævelse af den hærdede frosthårdførhed kan induceres på få dage, modsat selve hærddningen, der tager op til flere uger (Kalberer et al. 2006). Derfor er det tænkeligt, at dette har været tilfældet. Dog påvirkes ophævelsen af frosthårdførheden ud over temperaturens størrelse også af varigheden, samt den forudgående temperaturhistorie og varierer meget på både arts- og sortsniveau. Det er derfor svært at vurdere om en ophævelse er sket.

På trods af højere middeltemperaturer grundet klimaforandringerne, vurderer flere kilder, at der fremadrettet vil være forhøjet risiko for forårsfrost med frostskaider hos landbrugsafgrøderne til følge (Rigby og Porporato 2008, Augspurger 2013). Et alvorligt eksempel på skete i det østlige U.S.A. i 2017. Her kom der sen forårs frost ned til -7 °C ovenpå en uge med varmt vejr (op til 15 °C). Disse vejrforhold havde en ødelæggende virkning for mange landbrugsafgrøder og landbruget led et tab på 2,6 milliarder \$ (Gu et al. 2008, NOAA 2008).

Udvintringen af spidskål, gulerod og majroe kan være påvirket af andre forhold, såsom våd jord. Planterne dehydrerer cellerne for at opnå et lavere intracellulært frysepunkt, og derved øges frosttolerancen (Burke et al. 1976, Xin og Browse 2000). Forsøg har vist, at i tilfælde med meget vandholdig jord opnår planterne en dårligere hærddning af frosthårdførheden end planter,

der vokser under mere tørre forhold, fordi dehydrering af celler hæmmes (Stout 1980, Sasaki et al. 1998, Rajashekar og Panda 2014). Efteråret 2017 var det vådeste siden 1984. Der var mange nedbørsdøgn (Tabel 1) og skybrud (DMI 2018) og forsøgsmarken var meget våd i november og december (egen visuel observation). Derfor er det tænkeligt, at den meget våde jord i efteråret og vinteren har haft negativ indflydelse på planternes grad af frosthårdførhed.

Uanset om den hærdede frosthårdførhed er ophævet for tidligt eller om det genetiske grundlag har været utilstrækkeligt for at opnå en høj tolerance overfor frost, kan stærk frost være letal. For at minimere effekten af kolde temperaturer på de mindre frosthårdføre grøntsager, som fx spidskål, gulerod og majroe kan de overdækkes. Danske forsøg har vist, at overdække med halm (40 tons ha^{-1}) og plast/filt/plast kunne holde jorden frostfri ned til $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$. I forsøget blev der også testet fiberdug (30 g m^{-2}) og dette kunne holde jorden frostfri i perioder på under en uge (Grevsen og Bjørn 2009).

5.2.1 Spidskål

Ingen af spidskålssorterne overvintrede, på trods af at spidskålssorter til overvintring i Danmark har eksisteret siden 1980'erne (Todsén 1982). I litteraturen beskrives, at flere underarter af hovedkål (*Brassica oleracea*) har en høj frosttolerance. I forsøg i New England overvintrede 10 sorter af broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Dyrkningen foregik under både plasttunnel og fiberdug, som holdt temperaturen oppe på $-11 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mens der på åben mark var $-28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Martin og Sideman 2012). Udover at højne temperaturen bevirker plasttunnel og fiberdug også, at der er mindre temperaturudsving (Grevsen og Bjørn 2009, Orde et al. 2018), hvilket bidrager positivt til den maksimale frosttolerance (Levitt 1980, Kalberer et al. 2006). I et forsøg af Kohn og Levitt (1965) blev der fundet, at hovedkål ('Early jersey wakefield') kunne overleve ned til $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ under kontrollerede og optimale forhold. Til gengæld blev det også fundet, at når samme sort blev dyrket i drivhus var den maksimale frosttolerance -7 til $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette bevidner, at frosttolerancen for en given art under ukontrollerede forhold kan være væsentlig mindre end når forholdene er optimale under kontrollerede forsøg. I nærværende studie var der mange faktorer, der kunne have indflydelse på hovedkålens maksimale frosttolerance. Disse faktorer kan være svære at udpege, men et forhold, der har haft stor indvirkning, er skadedyrsangrebet sandsynligvis fra snegle, der kraftigt reducerede bladarealet (Figur 26). I visse tilfælde var stilken gnavet over ved jordoverfladen.

For at kunne rangordne spidskålssorternes frosttolerance blev de undersøgt for deres klorofylindhold, da det indikerer planters stressniveau og dermed også, hvor påvirkede de er af vinterkulden (Clement og Van Hasselt 1996). Desuden blev der foretaget analyser til kalibrering af resultaterne.

5.2.1.1 Kalibrering af klorofylmålinger

Resultaterne fra de nondestruktive målinger med klorofylmetret viste sig ikke at have en sammenhæng med resultaterne fundet ved ekstraktion (Figur 16). I forsøg af Mattila et al. (2018) blev klorofylindholdet målt i fire forskellige løvtræsarter med et Dualex klorofylmeter. Ved kalibrering af resultaterne via lineær regression blev $R^2 = 0,80-0,96$. I et andet studie var den bedst beskrivende funktion for kalibreringskurven af nondestruktive klorofylmålinger en potensfunktion med $R^2 = 0,63-0,91$ for forskellige afgrøder (Casa et al. 2015). Med $R^2 = 0,34$ i nærværende forsøg har heller ikke potensfunktionen kunnet beskrive sammenhængen. Derfor vurderes, at kalibrering ikke har kunnet finde sted og resultaterne fra de nondestruktive målinger forbliver derfor uden enhed.

Ved andre studier med kalibrering af non-destruktive klorofylmålinger er bladfeltet, som sensorens målefelt dækker, taget ud til ekstraktion (Cerovic et al. 2012, Casa et al. 2015) eller store bladribber er fjernet (Mattila et al. 2018). Dette kan forklare hvorfor der ikke blev fundet sammenhæng mellem klorofylindhold fundet ved ekstraktion og non-destruktive målinger i dette forsøg, hvor ekstraktionen er foretaget på hele blade. Målefeltet på det non-destruktive klorofylmeter er 5 mm i diameter og derfor bliver hver enkelt måling meget 'specifik'. Hvis der er en nekrotisk plet, en bladribbe eller jord netop i målefeltet kan det have stor indflydelse på resultatet. Dette forhold afspejles også i variansen af de forskellige klorofylanalysemetoder. Variansen af klorofylindholdet fundet ved ekstraktion af hele blade er 0,2, mens variansen af de non-destruktive målinger baseret på gennemsnit fra hver delparcel er 5,1. På trods af, at variansen er beregnet på gennemsnit og dermed nogle mere ensartede tal, er den høj. Klorofylbestemmelse med det non-destruktive klorofylmeter kræver flere målinger for at opnå et præcist resultat (Casa et al. 2015, Mattila et al. 2018) og derfor er variansen også beregnet ud fra et gennemsnit.

I et studie af Mattila et al. (2018) blev det fundet at personen, der måler, påvirkede resultatet af non-destruktive målinger. Der var signifikant forskel på klorofylindholdet alt efter om klorofylmetret blev holdt løst eller hårdt sammen om bladet. Dette forhold bør dog ikke være af stor betydning, da det er samme person der har udført alle målingerne i nærværende

forsøg og at de derfor må have været meget ensartede. Variansen var forventet at være mindre, på baggrund af de mange målinger, der blev foretaget. Det afspejler at en stor varians på bladniveau, men meningen med klorofylbestemmelsen er at kunne sige noget mere generelt om plantens stand i helhed og dermed kunne relatere det til plantens vinterhårdførhed.

5.2.1.2 Stigende klorofylindhold henover vinteren

På trods af manglende kalibrering og stor varians på målingerne overstiger forøgelsen i klorofylindhold henover den tidlige vinter variansen. Om der er en signifikant stigning eller ej vides ikke, dog ses en tendens til et stigende indhold i klorofyl for alle tre sorter mellem alle tre måledage (Figur 17).

I flere forsøg er det fundet, at klorofylindholdet falder ved lave temperaturer (4 og 7 °C), da biosyntesen af fotosyntetiske pigmenter nedsættes (almindelig ært (*Pisum sativum*) og soyabønne (*Glycine max*)) og det betragtes som et almindeligt symptom på stress, at indholdet af fotosyntetiske pigmenter reduceres (Clement og Van Hasselt 1996, Yadegari et al. 2007, Dutta et al. 2009). På baggrund af dette overrasker resultaterne, der peger på en stigning i klorofylindholdet og at planterne ikke viser en typisk stressrespons, trods at temperaturen flere gange har været negativ. Levitt (1980) beskriver dog et forsøg (Primærkilde: tjekkiske Nyuppiera 1973), hvori klorofylindholdet forbliver det samme eller stiger i hårdføre kartofler og falder i en mere sensitiv kartoffelsort henover vinteren. Resultaterne af klorofylindhold i nærværende studie peger på, at alle tre spidskålssorter ikke oplever stress ved temperaturer ned til -4,1 °C og at de derfor er frosthårdføre. Dog er det også set, at behandling med lave temperaturer (6 °C) for basilikum (*Ocimum basilicum*) ikke signifikant ændrede klorofylkoncentrationen (Kalisz et al. 2016).

Den manglende overvintring af spidskål overrasker, da både litteraturen og det stigende klorofylindhold peger på en høj frosttolerance. Dog var der omfattende angreb af skadedyr, som forventes at have haft en negativ indflydelse på den totale stresspåvirkning og dermed også vinteroverlevelsen. Andre spidskålssorter eller andre typer af hovedkål bør kunne overvintring i Danmark eventuelt med overdække eller i plasttunnel på marken.

5.2.2 Spinat

Alle spinatsorter overvintring ved både første og anden såtid, hvilket også var forventeligt, da spinat i tidligere forsøg har vist at have en høj grad af frosttolerance. Den bedste overvintring

fandt dog sted for sorten 'Matador' (visuel observation fra det tekniske personale). I tråd med resultaterne har andre forsøg vist, at spinat har en høj frosttolerance. Guy et al. (1985) fandt at LT_{50} (50 % elektrolyt lækage) for blade af hærdet spinat (sort 'Bloomsdale', hærdet ved 5 °C i 21 dage) var -12 °C, mens at LT_{50} for ikke hærdede spinatblade var -7 °C. Forsøget vidner om, at spinat grundlæggende har en høj frosttolerance, idet at selv uhærdede spinatblade tolererer frost. Dertil kommer, at spinaten kan hærdes og derved opnå endnu højere tolerance. Resultaterne bakkes op af andre studier, hvor lignende frosthårdførhed for spinat er fundet (Klosson og Krause 1981, Tamura 2002).

Sorten 'Butterfly' fra anden såtid overvintrede, selvom den knap var fremspiret inden vinteren. Dog kan der være en tendens til dårligere vinteroverlevelse af spinat fra anden såtid i forhold til første såtid. 'Matador' fra anden såtid havde pletter uden bevoksning, hvilket kan skyldes en dårligere vinteroverlevelse end spinaten fra første såtid (Figur 16). Det lader dog til at kun ene ende af parcellen har bare huller, hvorimod den anden ende ser ud til at være tættere og forskellen kan skyldes andre parametre end vinterkuldens påvirkning.

Resultaterne viste, at såtiden havde indflydelse på udbyttet, idet første såtid havde et merudbytte på 3 tons ha^{-1} eller 20 % i forhold til anden såtid, der var 20 dage efter. Et serbisk forsøg af Bjelić og Moravčević (2006) undersøgte udbyttet af den samme overvintrende spinatsort, som i nærværende studie ('Matador') henover tre sæsoner. Det blev fundet, at forårssåning medførte de højeste udbytter, dog uden signifikant forskel et enkelt år, hvor vinteren var mild. Det gennemsnitlige merudbytte for forårssåning i forhold til overvintring var 3,7 tons ha^{-1} . Såtiden for spinat til overvintring var fra ultimo november til primo december, og udbyttet kunne tænkes at forøges betragteligt, således at det for overvintrende spinat ville overstige det for forårssået, hvis såtiden blev tidligere (Orde et al. 2018). Forsøget viste endvidere, at høsten kunne foretages 16 dage tidligere ved overvintrende spinat i forhold til den forårssåede, hvilket kan give en økonomisk fordel i form af en merpris (Bjelić og Moravčević 2006).

Samme tendens blev fundet i et toårigt studie af Orde et al. (2018) med overvintrende spinat i New England. Forsøget testede 6 såtider (mellem 20. september og 9. november) og tre sorter af spinat ('Regiment', 'Space' og 'Tyee'). Når udplantning af 3 uger gamle planter blev rykket fra 20. september til 9. oktober faldt udbyttet signifikant fra 84 til 37 g plante $^{-1}$ i 2014-15 og fra 165 til 68 g plante $^{-1}$ det følgende år. I sæsonen 2014-15, der var

koldere end 30-årsnormen, var udbytterne væsentlig lavere sammenholdt med sæsonen 2015-16, der var varmere end 30-årsnormen, men tendensen med højere udbytte jo tidligere udplantning, var konsekvent. Spinaten blev dyrket i tunneller på mark, men de gennemsnitlige månedstemperaturer svarer til dem i nærværende forsøg og der blev ikke fundet en væsentlig forskel på sorterne. I forsøget blev der foretaget non-destruktiv høst af blade flere gange på hver plante og den tidlige udplantning førte i gennemsnit til 10 høst, mens den sene udplantning havde 5 høst per plante. Dette har øjensynligt bidraget til den store forskel på udbytterne, og om samme resultat ville være opnået ved én høst, er ikke sikkert.

Høsten i nærværende forsøg blev foretaget, da spinaten var i stok, på grund af tidmangel fra det tekniske personale og derfor kan resultaterne ikke sammenlignes med et normalt høstudbytte og høsttidspunkt. Alligevel peger resultaterne på den første såtid fører til et højere udbytte i forhold til anden såtid.

5.2.3 Hvidløg og kepaløg

Hvidløg og kepaløg overvintrede, hvilket stemmer fint overens med deres høje frosttolerance. I forsøg med kepaløg ('Downing yellow globe') blev det fundet, at alle celler i løget var intakte efter langsom nedkøling til -18 °C og overlevede 12 dage ved -11 °C (Palta et al. 1977). Desuden findes der særlige sorter til overvintring, hvilket især bruges til produktion af friske bundtløg (Henriksen 1982). Udbyttet af kepaløg lå i den høje ende med 31 tons ha⁻¹ i forhold til normale udbytter for økologiske løg på 15 til 30 tons ha⁻¹ (Gartnerirådgivningen 2008). Dog inkluderer dette udbytte 19 % løg, der var gået i stok. Den store andel af løg i stok kan have bidraget til det høje udbyttet. Da kepaløgene var beregnet på salg som bundtløg, kunne høsten have været tidligere, hvorved problemet med stokløbning kan mindskes (Gartnerirådgivningen 2008).

Hvidløg har i forsøg vist, at eksponering for kulde er nødvendigt for udviklingen af nye fed (Mann og Minges 1958) og at de største udbytter opnås, når væksten sker under kolde temperaturer. I danske dyrkningsbeskrivelser af hvidløg angives, at etablering skal ske i perioden ultimo september til primo november for at give det største udbytte. For både hvidløg og kepaløg var udbytterne rigtig pæne og endda lidt over normalen (Gartnerirådgivningen 2008). For hvidløg havde sorten indflydelse på udbyttet med 3,1 tons ha⁻¹ mere for 'Therador' fremfor 'Vallelado'. Forskellen i udbyttet skydes løgstørrelsen og ikke antallet. Hvorvidt 'Therador' passer bedst til danske forhold vil kræve flere forsøg til at afdække. Årsfaktoren kan have en

stor indflydelse og desuden var udbytterne tilfredsstillende for begge hvidløgssorter. Både kepaløg og hvidløg havde en tilfredsstillende overvintring med fine udbytter.

5.2.4 Gulerod

Kun gulerødder fra første såtid spirede og ingen af gulerødderne overvintrede. At gulerødder har en lav frosttolerance, afspejles i at der ikke findes meget litteratur om efterårssåning af gulerødder. Dog nævnes i et forsøg af Bjelić og Moravčević (2006) en serbisksproget kilde (Bjelić og Moravčević 2004), at før-vintersåning af gulerødder kan føre til 29 dages tidligere høst end ved forårssåning. Antifrost-proteiner, der sænker frysningstemperaturen af væsker og forhindre iskrystaller er desuden identificeret i gulerødder (Worrall et al. 1998). Derfor kan der være et forædlingspotential i gulerødder mod højere frosttolerance.

Resultaterne i nærværende studie, der dækker over tre sorter og to såtider peger på, at overvintring af gulerødder i Danmark er hæftet med stor usikkerhed. Det anbefales at dyrkningen sker under overdække eller i plasttunnel for at mindske temperaturudsving hen over vinteren (Grevsen og Bjørn 2009, Orde et al. 2018). Dog er det ikke sikkert, at en merpris vil kunne opnås for tidlige gulerødder, da vinteropbevaring af gulerødder enten på køl eller ved halmdække i marken sikrer, at der er økologiske gulerødder på markedet året rundt.

5.2.5 Majroe

Majroesorten 'Namenia' overvintrede ikke. Der foreligger ikke videnskabelig litteratur, der undersøger majroers frosthårdførhed eller overvintring. Den nærtbeslægtede rybs (*Brassica rapa* ssp. *oleifera*) har dog under forsøg i Norge overvintret (Waaen et al. 2013) og flere andre korsblomstrede arter har høj frosttolerance (Dhawan et al. 1986, Rapacz og Markowski 1999). Derfor overrasker resultaterne. Ændring af såtid eller sort kan eventuelt sikre en bedre overvintring.

5.3 Kvælstof

5.3.1 Kvælstofindhold i jorden

Af resultaterne fremgår, at der er forskelle i grøntsagernes effekt på indholdet og fordelingen af kvælstof i jordprofilen. Baggrunden derfor kan findes i forskelle i roddybde, rodvækstrate og den overjordiske tilvækst (Thorup-Kristensen og Sørensen 1999, Thorup-Kristensen 2001a). Forsøg af Thorup-Kristensen (2006) viste, at en kort roddybde og lav rodvækstrate hos løg og

salat (*Lactuca sativa*) førte til signifikant mere kvælstof i jorden ved høst end gulerod og hovedkål (*Brassica oleracea*), der begge havde rødder dybere end 1,25 m. Forskellen for løg var i sær tydelig under rodzonen omkring 0,25 m dybde. Spinat og løg er generelt meget kortrodede, hvorimod vinterrug har dybe rødder, hvilket forklarer den stor forskel i fordelingen af kvælstof i jorddybden. Forsøg har vist, at hos spinat er 80 % af den totale roddebyde at finde i de øverste 15 cm i jordlaget og mindre end 5 % af rødderne er over 30 cm dybe. Kepaløg og hvidløg kan opnå en roddebyde på 25-35 cm (Greenwood et al. 1982, Thorup-Kristensen 1999, Thorup-Kristensen 2001b). Forsøg i Nebraska, USA, i en meget fertil jord har dog vist, at roddebyden for kepaløg ('Southport White Globe') kan blive op til 1 m, hvidløg (ukendt sort) 0,75 m og spinat (ukendt sort) 1,2 m (Weaver og Bruner 1927). Vinterrugen kan opnå en roddebyde på op til 2,3 m (Weaver 1926) og har en høj rodvækstrate på ca. 1 mm daggrad⁻¹ (Thorup-Kristensen 2001a). Rodvækstraten er afgørende for, hvor hurtigt afgrøden kan opnå dens fulde potentiale. Dette er især vigtigt ved efterårssåning, hvor udvaskningsrisikoen er høj fra start og hvor vækstsæsonen for nyetablerede fangafgrøder er begrænset.

For løg og spinat fra anden såtid var der 55-90 % mere mineralsk kvælstof i 0-0,25 m dybde i forhold til spinat fra første såtid og vinterrug. Samme tendens sås ikke i forsøget med løg af Thorup-Kristensen (2006), men her blev målingerne af jordens mineralske kvælstof målt ved høst. Det store indhold af kvælstof i det øvre jordlag for løg og spinat fra anden såtid kan skyldes, at væksten for disse afgrøder endnu er meget spæd i april og næringsbehovet derfor lavt.

I jordlaget 1-2,5 m var der generelt væsentlig mere kvælstof i jorden under grøntsagerne end vinterrugen, hvilket betyder, at jordens kvælstofindhold er påvirket under rodzonen. Lignende tendens blev observeret i forsøg med italiensk rajgræs, der ved hurtig vækst i efteråret kunne begrænse nedsivning af nitrat til dybere lag under rodzonen (Thorup-Kristensen 2001a), hvilket ser ud til ligeledes at være tilfældet for vinterrug i nærværende forsøg.

Det ville være interessant at se, hvordan spidskål, majroe og gulerod påvirker jordens indhold af kvælstof ved overvintring. Korsblomstrede, som både spidskål og majroe har i tidligere forsøg vist, at have en høj rodvækstrate og en stor roddebyde på op til 2,4 m (Weaver og Bruner 1927, Kristensen og Thorup-Kristensen 2004, Kristensen og Thorup-Kristensen 2007) og har vist sig mere effektiv end enkimbladede planter i udnyttelse af kvælstof

(Lainé et al. 1993). Gulerod kan ligeledes opnå en stor roddebyde og har vist at udtømme jorden for kvælstof i højere grad end hovedkål ved forårssåning (Thorup-Kristensen 2006).

Af resultaterne fremgår en positiv sammenhæng mellem vækststørrelse i efteråret/vinteren og udbytte ved høst i juni for spinat og vinterrug. Dette vidner om, at jo længere udviklingstid afgrøderne har i efteråret, jo mere biomasse bliver dannet. Disse to forhold er endvidere negativt korreleret med jordens kvælstofindhold i april. Samme korrelation blev fundet af Elers og Hartmann (1987), der testede korsblomstrede arter (*Brassicaceae*) og vinterbyg (*Hordeum vulgare*) på fem såtider fra midt august til midt oktober. De fandt, at kvælstofoptaget blev reduceret med 1-2 kg N-min ha⁻¹ per døgn, som såtidspunktet blev udskudt. Ligeledes fandt Sørensen (1992), at indholdet af mineralsk kvælstof steg, når vækstperioden for efterafgrøder blev reduceret. I nærværende forsøg var der en reduktion på 0,3 og 0,5 kg N-min ha⁻¹ per døgn, som såtidspunktet blev udskudt for henholdsvis vinterrug og spinat.

Jo tidligere etablering af de overvintrende grøntsager er, jo længere vil vækstsæsonen være. En tidligere etablering bevirker, at grøntsagerne til dels opnår større bladmasse og næringsbehov og til dels vil det jordvolumen, som rødderne kan udnytte, forøges. Dog kan for stor tilvækst inden vinteren være problematisk i forhold til frosttolerance (Arakeri og Schmid 1949, Jacobsen et al. 2005). I en økologisk grøntsagsproduktion kan det ligeledes være en udfordring, at så afgrøder til overvintring tidligt, da mange hovedafgrøder høstes sent. I sådanne tilfælde bør der anvendes arter, eller sorter med høj rodvækstrate, dog med forbehold for at et godt sædskifte varetages. En høj rodvækstrate og dybe rødder er ligeledes afgørende i tilfælde, hvor der er meget kvælstof tilstede i dybere jordlag. Selvom tidlig etablering af overvintrende grøntsager i nogle tilfælde ikke er mulig, og kvælstofopsamlingen i efteråret derfor er lav, kan der stadig opnås fordele i foråret. Væksten vil være spæd i foråret, men fortsat være længere fremme end ved forårssåning med mulighed for større kvælstofopsamling og tidligere høst, hvorved der kan forventes en merpris (Bjelić og Moravčević 2006, Orde et al. 2018). Forårsetablering af afgrøder vil desuden afhænge af, om jorden er tjenlig. I tilfælde med meget nedbør i foråret og en utjenlig jord, vil der derfor være en yderligere fordel med overvintrende grøntsager. Kvælstofopsamling i foråret kan ligeledes være betydelig i år, hvor efteråret og vinteren er tør (Willumsen og Thorup-Kristensen 2001).

Gødskningen med 50 kg N ha^{-1} har sandsynligvis været for stor til at blive optaget af planterne, hvilket afspejles i, at der for afgrøderne var $9 - 24 \text{ kg N-min ha}^{-1}$ mere mineralsk kvælstof i de øverste $0,5 \text{ m}$ i april end i oktober. Dog skal det tages i med i betragtningen at forårsmineralisering finder sted. Danske forsøg har vist, at gødskning i størrelsesordenen af 30 eller 50 kg N ha^{-1} af efterafgrøder kan lede til forøgelse af kvælstofoptagelse og tørstofproduktion, men en meroptagelse ud over den tilførte gødningsmængde blev ikke observeret. Hvis gødskning af efterafgrøder ikke skal føre til mere udvaskning, skal denne være veletableret i efteråret og hurtigt voksende, såsom almindelig rajgræs, der har vist sig i stand til at reducere udvaskningen betydeligt i forhold til en ubevokset jord, selvom den gødes (Hansen et al. 2000). Dertil kommer, at efterafgrøder under normale omstændigheder etableres tidligere end dette forsøgs afgrøder, og derfor vil være større og i stand til at optage mere kvælstof. Hvis gødskning undlades, vil de overvintrende grøntsager ikke bidrage til merudvaskning, men derimod kun have en neutral eller positiv effekt. Endvidere er det i Danmark ikke tilladt at efterårsgødske efterafgrøder.

I parceller, hvor afgrøderne ikke overvintrede, har dyrkningssystemets overordnede kvælstofregnskab har været ringe. Disse parceller blev tilført gødning og var uden bevoksning i det sene vinter og i foråret. I alle parcellerne var der dog levende planter, som i et vist omfang har kunnet optage kvælstof, indtil i hvert fald januar 2018. Dog var bevoksningen i parceller med gulerod og majroe så lav, at kvælstofoptaget må være meget begrænset. I parceller med spidskål kan der have været opsamlet mere kvælstof, da planterne var del større ($70\text{-}95 \text{ cm}$ i gennemsnit i højden). For at afbøde nitratudvaskningen i tilfælde uden overvintring, kan der etableres nye grøntsager til opsamling af kvælstof i foråret, så snart det er muligt.

Resultaterne i nærværende forsøg bekræfter den eksisterende viden om, at kort roddebyde, lav rodvækst rate og sen såning ikke er hensigtsmæssig i forhold til opsamling af kvælstof fra dybere jordlag. Hvorvidt udvaskningen af nitrat er mindsket hos grøntsagerne og vinterrugen er uvist, da der ikke er foretaget prøver af en bar jord i april, som kunne vise jordens kvælstofindhold uden overvintrende afgrøder. Et forhold der peger på, at de overvintrende grøntsager ikke har mindsket nitratudvaskningen, er foruden det ovenstående, at der allerede i oktober var et højt indhold af mineralskkvælstof i de dybe jordlag fra $0,5 \text{ m}$ og ned. Udvasning af store mængder kvælstof under rodzonen er derfor allerede sket. Hvis fordelingen af kvælstof

havde været således at størstedelen lå i de øvre jordlag, ville grøntsagerne bedre kunne udnytte det og i højere grad mindske udvaskning.

5.3.2 *Kvælstofindhold i overjordisk plantemasse ved høst*

Kvælstofindholdet i den overjordiske plantemasse var højt hos spinat og kepaløg på trods af, at der også blev fundet høje niveauer af kvælstof i jorden i april, sammenlignet med vinterrug. Det kan betyde, at der har været et højt optag af kvælstof hos spinat og løg fra april til juni. Det lave niveau af kvælstof i den overjordiske plantemasse for vinterrug kan skyldes at en stor del af det assimilerede kvælstof allokeres til røddernes biomasse (Thorup-Kristensen et al. 2003).

Kvælstofindholdet i løg blev ved optimale gødningsniveauer af kvælstof (120 kg ha^{-1}) og svovl (40 kg ha^{-1}) fundet at være 475 kg ha^{-1} ved høst (Nasreen et al. 2008), mens det i forsøg af Zink (1966) var optag på 168 kg N ha^{-1} ved de største tilførsler af kvælstof på 150 kg ha^{-1} . Løgplanterne i nærværende forsøg vurderes derfor ikke at have manglet kvælstof under forsøget, på trods af de lave gødningsmængder på 50 kg N ha^{-1} . Kvælstofindholdet i spinat var højt i forhold til forsøg af Heins og Schenk (1987), der viste at spinat optog $70\text{-}113 \text{ kg N ha}^{-1}$ ved gødningsniveauer på $100\text{-}250 \text{ kg N ha}^{-1}$. Resultaterne peger derfor på, at spinaten ikke har haft kvælstofmangel under væksten.

Både løg, spinat og vinterrug fra første såtid havde optaget betydeligt mere kvælstof i den overjordiske plantemasse end den mængde, der var i jorden i oktober, samt den mængde der blev tildelt ved gødskningen i april. Det betyder, at kvælstofudnyttelsen for dyrkningssystemet er højnet og i tillæg lader det til, at det er uden at gå på kompromis med udbyttet for i hvert fald løg. Dog er der flere ting der peger på at nitratudvaskningen ikke er mindsket betydeligt og hvorvidt de overvintrende grøntsager har bidraget positiv til kvælstofbalancen i forhold til forårsetablering af grøntsager er usikkert.

6 Konklusion

Konklusionen i nærværende studie er, at der er mulighed for at dyrke grøntsager til overvintring i Danmark. Endvidere konkluderes, at effekten på fordelingen af kvælstof i jorden ikke er ideel til mindskelse af nitratudvaskning ved dyrkning af overvintrende spinat og løg. Resultaterne viser, at overvintringen er artsspecifik, idet hverken sort og så- eller plantetid havde indvirkning. De overvintrende grøntsager i forsøget var spinat (*Spinacia oleracea*), hvidløg (*Allium sativum*) og kepaløg (*Allium cepa*), mens spidskål (*Brassica oleracea* var. *capitata* subv. *conica*), gulerod (*Daucus carota* subv. *sativus*) og majroe (*Brassica rapa* var. *rapa*) udvintrede. Da overvintringen er tvivlsom for flere grøntsagsarter, anbefales overdækning med fx fiberdug eller plasttunneller, der i anden litteratur har vist at højne temperaturen betydeligt og potentielt vil kunne udvide sortimentet af overvintrende grøntsager.

Klorofylindholdet hos spidskål, der steg henover tre målegange indikerer, at planterne ikke har været stresset da målingerne fandt sted. Dog er målingerne hæftet med stor usikkerhed, eftersom variationen var høj og kalibrering ikke kunne finde sted. Spidskålen var endvidere stærkt angrebet af skadedyr, hvilket må have haft betydning for den manglende overvintring og måske var målingerne af klorofylindhold ikke på det tidspunkt der var afgørende for den stress der var letal.

Desuden konkluderes at en tidligere såtid for spinat og vinterrug medfører større vækst i efteråret og højere udbytter. Dette medfører et højere næringsbehov, hvilket afspejles i kvælstofindholdet i jorden i april, der var lavere ved første såtid end anden såtid. For rugen er det desuden entydigt, at der ved første såtid var mindre kvælstof i alle dybder for prøvetagning i forhold til anden såtid. De overvintrende grøntsager; løg og spinat er meget kortrodede, hvilket vurderes som årsag til, at der var mere mineralsk kvælstof i stort set alle prøvedybder end ved vinterrugen.

For alle afgrøder og såtider blev det fundet, at der var mere kvælstof i 0-0,5 m i april end i oktober inden etablering. Dette kan være forårsaget af forårsmineraliseringen, men kan også skyldes, at gødskningen i efteråret endnu ikke er optaget af planterne. For samtlige afgrøder blev der optaget væsentlig mere kvælstof end den mængde, der var i jorden i oktober og i gødningstildelingen. Dette kan være indikator for en forhøjet kvælstofudnyttelse, men da der i oktober var store mængder mineralsk kvælstof i dybere jordlag (under 0,5 m) forventes det, at der har været en minimal effekt på mindskelsen af nitratudvaskningen.

7 Perspektiver

På baggrund af den opnåede viden fra nærværende studie er det præciseret at overvintrende grøntsager kan implementeres, som en del af et intensiveret økologisk dyrkningssystem. Det giver mulighed for at forøge det årlige udbytte og efterkomme efterspørgsel på økologiske, lokale råvarer. I forhold til at mindske miljøforurening fra økologiske dyrkningssystemer i form af nitratudvaskning, indikerer nærværende studie, at overvintring af løg og spinat ikke er virksomt, når der ved etablering er høje mængder kvælstof i de dybere jordlag.

7.1 Videre arbejde

Nærværende studie har afdækket, at etablering af de overvintrende grøntsager ikke må ske for sent, hvis kvælstofoptaget ønskes at forøges med henblik på mindskelse af nitratudvaskning. Resultater fra litteraturen peger endvidere på, at grøntsagerne bør have en stor roddeybde og høj rodvækstrate.

For at overvintrende grøntsager effektivt kan optage kvælstof fra jorden, må de have et højt næringsbehov, hvilket kræver en stor biomasse. For at opnå det, må vækstperioden være lang og af denne årsag skal lovpligtige efterafgrøder etableres senest 1. august med udtagelse af blandt andet korsblomstrede afgrøder, der skal være sået senest 20. august (Miljø- og Miljø- 2017). Flere typer af grøntsager er dog ikke høstet på dette tidspunkt, hvilket besværliggør tidlig såning af overvintrende grøntsager. Derfor foreslås det, at videre arbejde undersøger muligheden for etablering af overvintrende grøntsager i den foregående sommerafgrøde, når denne høstes sent. Forsøg har vist at etablering af cikorie (*Cichorium intybus*) ultimo juli mellem porrer (*Allium porrum*) signifikant mindskede nitratudvaskningen, uden at gå på bekostning med udbyttet af porrerne (Nielsen og Thorup-Kristensen 2001). Lignende forsøg med samdyrkning af farvevaid (*Isatis tinctoria*) og porrer har fundet sted og førte til en bedre udtømmning af jordens kvælstof under porens rodzone (Xie og Kristensen 2017).

Roddybden bør søges så høj som muligt, for at afgrøden kan udnytte et dybt jordvolumen og koncentrere kvælstoffet i muldlaget. Desuden er det en fordel med en høj rodvækstrate, således at jorden hurtigst muligt bliver udnyttet af aktive rødder efter høst af den foregående afgrøde. Flere grøntsager har det potentiale og det anbefales at disse arter og sorter undersøges nærmere for deres evne til at overvintrere. Korsblomstrede afgrøder og gulerødder er i forsøg påvist, at have dybe rødder og en høj rodvækstrate (Thorup-Kristensen 2001a,

Thorup-Kristensen 2006). Desuden kan bladebede (*Beta vulgaris* var. *cicla*) og persillerod (*Petroselinum crispum* var. *tuberosum*) opnå en roddybde på henholdsvis 2 og 2,7 m (Weaver og Bruner 1927). For især de korsblomstrede grøntsager er der et stort potentiale eftersom denne familie har et stort spektrum af grøntsager og nogle er fundet at have en høj frosttolerance (Martin og Sideman 2012).

7.2 Anvendelse i praksis

Hvis implementering af overvintrende grøntsager i de økologiske sædskifter skal vinde indpas, er det fordelagtigt at udvide sortimentet af egnede arter og soter. Dette vil sikre at et godt sædskifte kan varetages og det kan sikre at markedsudbuddet er bredt. Desuden må der være en vis sikkerhed for, at grøntsagerne ikke udvintre. En mere pålidelig vinteroverlevelse vil kunne opnås ved at overdække grøntsagerne, hvorved temperaturen hæves. Overdækning kan fx ske med fx fiberdug, halm eller plasttunneller (Grevsen og Bjørn 2009, Martin og Sideman 2012, Orde et al. 2018). Dette vil være en ekstra udgift, med både fiberdug og plasttunneller er en engangsinvestering. Prisen skal endvidere holdes op imod en merpris for tidlige grøntsager (Bjelić og Moravčević 2006, Orde et al. 2018).

8 Referencer

- Agneessens, L., De Waele, J. og De Neve, S. (2014). Review of alternative management options of vegetable crop residues to reduce nitrate leaching in intensive vegetable rotations. *Agronomy* 4(4): 529-555.
- Agostini, F., Tei, F., Silgram, M., Farneselli, M., Benincasa, P. og Aller, M. F. (2010). Decreasing nitrate leaching in vegetable crops with better N management. I bogen: Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. Lichtfouse, E. Springer Netherlands. Dordrecht, Holland.
- Almasri, M. N. og Kaluarachchi, J. J. (2004). Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds. *Journal of Hydrology* 295(1): 225-245.
- Arakeri, H. R. og Schmid, A. R. (1949). Cold resistance of various legumes and grasses in early stages of growth. *Agronomy Journal* 41(5): 182-185.
- Augsburger, C. K. (2013). Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. *Ecology* 94(1): 41-50.
- Badeck, F. W. og Rizza, F. (2015). A combined field/laboratory method for assessment of frost tolerance with freezing tests and chlorophyll fluorescence. *Agronomy* 5(1): 71-88.
- Benton, T. G., Vickery, J. A. og Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18(4): 182-188.
- Bjelić, V. og Moravčević, D. (2006). Effect of pre-winter sowing on earliness and yield of spinach. *Journal of Agricultural Sciences* 51(1): 1-6.
- Braun-Blanquet, J. (1951). *Pflanzensoziologie: grundzüge der vegetationskunde*. Wien. Springer.
- Briskin, D. P. og Bloom, A. (2010). Assimilation of mineral nutrients. I bogen: *Plant Physiology*. Femte udgave. Taiz, L. og Zeiger, E. Sinauer Associates Inc. Sunderland, U.S.A.
- Burke, M. J., Gusta, L. V., Quamme, H. A., Weiser, C. J. og Li, P. H. (1976). Freezing and injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology* 27: 507-528.
- Casa, R., Castaldi, F., Pascucci, S. og Pignatti, S. (2015). Chlorophyll estimation in field crops: an assessment of handheld leaf meters and spectral reflectance measurements. *Journal of Agricultural Science* 153(5): 876-890.
- Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Ghazlen, N. B. og Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum* 146(3): 251-260.
- Chen, H. H. og Li, P. H. (1980). Characteristics of cold acclimation and deacclimation in tuber-bearing solanum species. *Plant Physiology* 65(6): 1146-1148.
- Christensen, T. og Sandøe, P. (2018). Øget efterspørgsel efter danske økologiske fødevarer: tre studier af motiver og ønsker hos forbrugerne med fokus på sundhed, lokale fødevarer og øget eksport. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet.
- Clement, J. M. A. M. og Van Hasselt, P. R. (1996). Chlorophyll fluorescence as a parameter for frost hardiness in winter wheat. A comparison with other hardiness parameters. *Phyton* 36(1): 29-41.
- Cole, C. V., Duxbury, J., Freney, J., Heinemeyer, O., Minami, K., Mosier, A., Paustian, K., Rosenberg, N., Sampson, N., Sauerbeck, D. og Zhao, Q. (1997). Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49(1): 221-228.

- Dhawan, A. K., Hooda, A. og Goyal, R. K. (1986). Effect of low temperature, short days, water stress and dimethyl sulphoxide on frost tolerance of *Brassica juncea*, coss and czern var. Prakash. *Annals of Botany* 58(2): 267-271.
- Dmi (2018). Danmarks klima 2017. DMI rapport.
- Dmi (2018). Vinteren 2017-2018. Vejret i Danmark.
- Dutta, S., Mohanty, S. og Tripathy, B. C. (2009). Role of temperature stress on chloroplast biogenesis and protein import in pea. *Plant Physiology* 150(2): 1050-1061.
- Elers, B. og Hartmann, H. D. (1987). Biologische konservierung von nitrat. *Gemüse* 4: 210-214.
- Erisman, J. W., Van Grinsven, H., Grizzetti, B., Bouraoui, F., Powlson, D., Sutton, M. A., Bleeker, A. og Reis, S. (2011). The European nitrogen problem in a global perspective. I bogen: The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press. England.
- Follett, R. F. og Delgado, J. A. (2002). Nitrogen fate and transport in agricultural systems. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(6): 402-408.
- Fowler, D. B. (2008). Cold acclimation threshold induction temperatures in cereals. *Crop Science* 48(3): 1147-1154.
- Gartnerirådgivningen (2008). Økologisk dyrkningsvejledning for spiseløg (*Allium cepa*).
- Gartnerirådgivningen (2008). Økologisk dyrkningsvejledning for hvilløg (*Allium sativum*).
- Goulding, K. (2000). Nitrate leaching from arable and horticultural land. *Soil Use and Management* 16: 145-151.
- Greenwood, D. J., Gerwitz, A., Stone, D. A. og Barnes, A. (1982). Root development of vegetable crops. *Plant and Soil* 68(1): 75-96.
- Greenwood, D. J., Kubo, K., Burns, I. og Draycott, A. (1989). Apparent recovery of fertilizer N by vegetable crops. *Soil Science and Plant Nutrition* 35(3): 367-381.
- Grevsen, K. og Bjørn, G. K. (2009). Vinterdækning og opbevaring af jordskokker. *Frugt og Grønt* 8(7/8): 332-334.
- Gu, L., Hanson, P. J., Post, W. M., Kaiser, D. P., Yang, B., Nemani, R., Meyers, T. og Pallardy, S. G. (2008). The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? *Bio Science* 58(3): 253-262.
- Guy, C. L., Niemi, K. J. og Brambl, R. (1985). Altered gene expression during cold acclimation of spinach. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 82(11): 3673-3677.
- Hansen, B. V., Dalgaard, T., Thorling, L., Sørensen, B. og Erlandsen, M. (2012). Regional analysis of groundwater nitrate concentrations and trends in Denmark in regard to agricultural influence. *Biogeosciences Discussions* 9(5): 3277-3286.
- Hansen, E. M., Kyllingsbæk, A., Thomsen, E. K., Djurhuus, J., Thorup-Kristensen, K. og Jørgensen, V. (2000). Efterafgrøder. Dyrkning, kvælstofoptagelse, kvælstofudvaskning og eftervirkning. DJF rapport Markbrug 37.
- Heins, B. og Schenk, M. (1987). Nitrogen. Root growth and nitrate uptake of vegetable crops. *Journal of Plant Nutrition* 10(9): 1743-1751.
- Henriksen, K. (1982). Løg. I bogen: Grønsager på friland. 1. udgave, 3. oplag. Jørgensen, M. B. Gartnerinfo. Haderslev, Danmark
- Hummer, K., Lagerstedt, H. B. og Kim, S. K. (1986). Filbert acclimation, maximum cold hardiness, and deacclimation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111(3): 474-482.

- Jacobsen, S. E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L. A., Corcuera, L. J. og Mujica, A. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22(2): 131-139.
- Jensen, L. S. og Magid, J. (1998). Nutrient turnover in soil after organic matter addition. I bogen: *Applied Plant Nutrition*, fjerde udgave. Jensen, L. S. Den kongelige veterinær- og landbohøjskole. København, Danmark.
- John, R., Anjum, N. A., Sopory, S. K., Akram, N. A. og Ashraf, M. (2016). Some key physiological and molecular processes of cold acclimation. *Biologia Plantarum* 60(4): 603-618.
- Kalberer, S. R., Wisniewski, M. og Arora, R. (2006). Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: Current understanding and emerging concepts. *Plant Science* 171(1): 3-16.
- Kalisz, A., Jezdinský, A., Pokluda, R., Sękara, A., Grabowska, A. og Gil, J. (2016). Impacts of chilling on photosynthesis and chlorophyll pigment content in juvenile basil cultivars. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 57(4): 330-339.
- Klosson, R. J. og Krause, G. H. (1981). Freezing injury in cold-acclimated and unhardened spinach leaves. *Planta* 151(4): 339-346.
- Kohn, H. og Levitt, J. (1965). Frost hardiness studies on cabbage grown under controlled conditions. *Plant Physiology* 40(3): 476-480.
- Kristensen, H. L. og Thorup-Kristensen, K. (2004). Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. *Soil Science Society of America Journal* 68(2): 529-537.
- Kristensen, H. L. og Thorup-Kristensen, K. (2007). Effects of vertical distribution of soil inorganic nitrogen on root growth and subsequent nitrogen uptake by field vegetable crops. *Soil Use and Management* 23: 338-347.
- Lainé, P., Ourry, A., Macduff, J., Boucaud, J. og Salette, J. (1993). Kinetic parameters of nitrate uptake by different catch crop species: effects of low temperatures or previous nitrate starvation. *Physiologia Plantarum* 88(1): 85-92.
- Lal, R., Delgado, J. A., Groffman, P. M., Millar, N., Dell, C. og Rotz, A. (2011). Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*. 66(4): 276-285.
- Lecomte, C., Giraud, A. og Aubert, V. (2003). Testing a predicting model for frost resistance of winter wheat under natural conditions. *Agronomie* 23(1): 51-66.
- Leistra, M. og Boesten, J. J. T. I. (1989). Pesticide contamination of groundwater in western Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 26(3): 369-389.
- Levitt, J. (1980). Responses of Plants to Environmental Stress. Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. Stanford, Californien Academic Press.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- Lindstrom, O. M. og Dirr, M. A. (1991). Cold hardiness of six cultivars of Chinese elm. *HortScience* 26(3): 290-292.
- Mann, L. og Minges, P. (1958). Growth and bulbing of garlic (*Allium sativum* L.) in response to storage temperature of planting stocks, day length, and planting date. *Hilgardia* 27(15): 385-419.
- Martin, C. A. og Sideman, R. G. (2012). Survival and yields of fall-planted winter sprouting broccoli grown in high tunnels for spring harvest in the Northeastern United States. *HortTechnology* 22(3): 345-352.

- Mattila, H., Valev, D., Havurinne, V., Khorobrykh, S., Virtanen, O., Antinluoma, M., Mishra, K. B. og Tyystjärvi, E. (2018). Degradation of chlorophyll and synthesis of flavonols during autumn senescence - the story told by individual leaves. *AoB Plants* 10(3).
- Meisinger, J. J. og Delgado, J. A. (2002). Principles for managing nitrogen leaching. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(6): 485-498.
- Meyer, D. W. og Badaruddin, M. (2001). Frost tolerance of ten seedling legume species at four growth stages. *Crop Ecology, Management and Quality* 41(6): 1838-1842.
- Miljø- og Fødevarerministeriet (2017). Bekendtgørelse af økologiloven. BEK nr. 21 af 04/01/2017. Natur og Erhvervstyrelsen.
- Miljø- og Fødevarerministeriet (2017). Bekendtgørelse om plantedække og om dyrkningsrelaterede tiltag. BEK nr.1649.
- Nasreen, S., Haque, M., Hossain, M. og Farid, A. (2008). Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulphur fertilization. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 32 (3): 413-420.
- United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. A/RES/70/1.
- United Nations (2017). World population prospects: the 2017 revision, key findings and advance tables. Working paper no. ESA/P/WP/248. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. .
- Nielsen, K. L. og Thorup-Kristensen, K. (2001). Root growth and nitrogen utilization of a leek crop and an undersown catch crop. I bogen: *Plant Nutrition: Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems Through Basic and Applied Research*. Springer Netherlands. Dordrecht, Holland.
- Orde, K. M., Eaton, C. og Sideman, R. G. (2018). Yield and soluble solids content of winter-grown spinach in unheated high tunnels in New England. *HortScience* 53(5): 638.
- Palta, J. P., Levitt, J. og Stadelmann, E. J. (1977). Freezing tolerance of onion bulbs and significance of freeze-induced tissue infiltration. *Cryobiology* 14(5): 614-619.
- Quemada, M., Baranski, M., Nobel-De Lange, M. N. J., Vallejo, A. og Cooper, J. M. (2013). Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 174: 1-10.
- Rahn, C. R., Vaidyanathan, L. V. V. og Paterson, C. D. (1992). Nitrogen residues from brassica crops. *Aspects of Applied Biology* 30: 263-270.
- Rajashekar, C. B. og Panda, M. (2014). Water stress is a component of cold acclimation process essential for inducing full freezing tolerance in strawberry. *Scientia Horticulturae* 174: 54-59.
- Rapacz, M. og Markowski, A. (1999). Winter hardiness, frost resistance and vernalization requirement of european winter oilseed rape (*Brassica napus* var. *oleifera*) cultivars within the last 20 years. *Journal of Agronomy and Crop Science* 183(4): 243-253.
- Rigby, J. R. og Porporato, A. (2008). Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters* 35(12).
- Rizza, F., Pagani, D., Gut, M., Prášil, I. T., Lago, C., Tondelli, A., Orrù, L., Mazzucotelli, E., Francia, E., Badeck, F.-W., Crosatti, C., Terzi, V., Cattivelli, L. og Stanca, A. M. (2011). Diversity in the response to low temperature in representative barley genotypes cultivated in Europe. *Crop Science* 51(6): 2759-2779.
- Robertson, G. P. og Vitousek, P. M. (2009). Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources* 34(1): 97-125.

- Sasaki, H., Ichimura, K., Okada, K. og Oda, M. (1998). Freezing tolerance and soluble sugar contents affected by water stress during cold-acclimation and de-acclimation in cabbage seedlings. *Scientia Horticulturae* 76(3-4): 161-169.
- Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C. B. og Sigsgaard, T. (2018). Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study. *International Journal of Cancer* 143(1): 73-79.
- Silva, E. og Moore, V. M. (2017). Cover crops as an agroecological practice on organic vegetable farms in Wisconsin, USA. *Sustainability* 9(1): 55-69.
- Statistik, D. (2019). Detailomsætningen af økologiske føde- og drikkevarer. Nyt fra Danmarks Statistik. 173.
- Stein, L. Y. og Klotz, M. G. (2016). The nitrogen cycle. *Current Biology* 26(3): 94-98.
- Stout, D. G. (1980). Alfalfa water status and cold hardiness as influenced by cold acclimation and water stress. *Plant, Cell and Environment* 3(4): 237-241.
- Sørensen, J. N. (1992). Effect of catch crops on the content of soil mineral nitrogen before and after leaching. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 155(1): 61-66.
- Tamura, A. (2002). Changes in the freezing tolerance of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and komatsuna (*Brassica campestris* L.) from autumn to early spring in an unheated greenhouse. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 71(1): 74-81.
- Thomashow, M. F. (1999). Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annual Review of Plant Biology* 50(1): 571-599.
- Thorup-Kristensen, K. (1999). An organic vegetable crop rotation aimed at self-sufficiency in nitrogen. Designing and testing crop rotations for organic farming: Proceedings from an international workshop. Olesen, J. E., Eltun, R., Gooding, M. J., Jensen, E. S. og Köpke, U., DARCOF.
- Thorup-Kristensen, K. (1999). Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot. *International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilisation of Field Grown Vegetable Crops*.
- Thorup-Kristensen, K. (2001a). Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant and Soil* 230(2): 185-195.
- Thorup-Kristensen, K. (2001b). Roddybder i grønsager. Miljøprojekt Nr. 588. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening.
- Thorup-Kristensen, K. (2006). Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil Use and Management* 22(1): 29-38.
- Thorup-Kristensen, K., Magid, J. og Jensen, L. S. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy Academic Press*. 79: 227-302.
- Thorup-Kristensen, K. og Nielsen, N. E. (1998). Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nitrogen supply for succeeding crops. *Plant and Soil* 203(1): 79-89.
- Thorup-Kristensen, K. og Sørensen, J. N. (1999). Soil nitrogen depletion by vegetable crops with variable root growth. *Acta Agriculturae Scandinavica* 49(2): 92-97.
- Todsén, T. T. (1982). Spidskål. I bogen: Grøntsager på friland. Første udgave, 3. oplag. Jørgensen, M. B. Gartner Info. København, Danmark.

- Vega, S. E., Palta, J. P. og Bamberg, J. B. (2000). Variability in the rate of cold acclimation and deacclimation among tuber-bearing solanum (potato) species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125(2): 205.
- Weaver, J. E. (1926). *Root development of field crops*. McGraw-Hill book company inc. New York, U.S.A. .
- Weaver, J. E. og Bruner, W. E. (1927). *Root development of vegetable crops*. McGraw-Hill book company inc. New York, U.S.A.
- Whitmore, A. P. (1996). Modelling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences* 44(1): 73-86.
- Willumsen, J. og Thorup-Kristensen, K. (2001). Effects of green manure crops on soil mineral nitrogen available for organic production of onion and white cabbage in two contrasting years. *Biological Agriculture and Horticulture* 18(4): 365-384.
- Withers, P. J. A., Neal, C., Jarvie, H. P. og Doody, D. G. (2014). Agriculture and eutrophication: where do we go from here? *Sustainability* 6(9): 5853-5875.
- Worrall, D., Elias, L., Ashford, D., Smallwood, M., Sidebottom, C., Lillford, P., Telford, J., Holt, C. og Bowles, D. (1998). A carrot leucine-rich-repeat protein that inhibits ice recrystallization. *Science* 282: 115-117.
- Waaen, W., Øvergaard, S. I., Åssveen, M., Eltun, R. og Gusta, L. V. (2013). Winter survival of winter rapeseed and winter turnip rapeseed in field trials, as explained by PPLS regression. *European Journal of Agronomy* 51: 81-90.
- Xie, Y. og Kristensen, H. L. (2017). Intercropping leek (*Allium porrum* L.) with dyer's woad (*Isatis tinctoria* L.) increases rooted zone and agro-ecosystem retention of nitrogen. *European Journal of Agronomy* 82: 21-32.
- Xin, Z. og Browse, J. (2000). Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. *Plant Cell and Environment* 23(9): 893-902.
- Yadegari, L. Z., Reza, H. og Jirair, C. (2007). The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyde (MDA), total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Journal of Biological Sciences* 7(8): 1436-1441.
- Zhang, X., Davidson, E., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P. og Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528: 51-59.
- Zink, F. (1966). Studies on the growth rate and nutrient absorption of onion. *Hilgardia* 37(8): 203-218.